BIDRAG

TILL KÄNNEDOMEN OM

DE FYSISKA EGENSKAPERNA HOS KAUTSCHUK

AKADEMISK AFHANDLING,

SOM MED TILLSTÅND AF

VIDTBERÖMDA FILOSOFISKA FAKULTETENS

I UPSALA

MATEMATISKT-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR FILOSOFISKA DOKTORSGRADENS VINNANDE

OFFENTLIGEN FÖRSVARAS

AF

AXEL EDVARD LUNDAL
Filosofie Licentiat af Vestgöta Landskap

Å FYSISKA LÄROSALEN

LÖRDAGEN DEN 20 FEBRUARI 1897 KL. 10 F. M.

UPSALA 1897
AKADEMISKA BOKTRYCKERIET
EDV. BERLING.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Historik.

De märkvärdiga egenskaper, som kautschuk äger i termiskt och termodynamiskt hänseende, synas först hafva blifvit uppmärksammade af *Gough*[1]), som funnit, att spänd kautschuk sammandrager sig vid temperaturstegring och utvidgar sig vid temperatursänkning. Likaledes observerade han genom att hålla ett kautschuksnöre i kontakt med läpparne, att detsamma uppvärmes vid sträckning och afkyles, då sträckningen upphör. Med tillhjälp af den mekaniska värmeteorien har sedermera Sir *W. Thomson* teoretiskt påvisat sambandet mellan dilatationskoefficienten och värmefenomenen vid sträckning, hvilket samband han, som bekant, har uttryckt i formeln:

$$dt = \frac{1}{\varrho_0} \cdot T \cdot \frac{\alpha}{J \cdot C} \cdot dp \ ,$$

der dt = temperaturvariationen, ϱ_0 = massan på längdenheten, T = abs. temp., α = dilatationskoefficienten, J = värmets mekaniska eqvivalent, C = specifika värmet och dp = förändringen i belastningen. På uppmaning af W. Thomson företog sig *Joule*[2]) att experimentelt verifiera denna formmel. Bland de ämnen, han undersökte, var äfven kautschuk. Medelst ett af koppar och järn bestående termoelement, instucket i en kautschukstaf med en genomskärningsarea af ung. 2.5 cm^2 bestämdes värmeverkningarne vid sträckning. Joule sammanfattar resultaten af sina termodynamiska undersökningar sålunda: »— 1st. That the effect

1) Gough, Journal de Gehlen t. IX p. 127. (1806—1810).

2) Joule, Phil. Trans. t. 149 p. 101. 1859.

of laying on the weights was not sensibly different in quantity from the reverse effect of removing them. 2nd. That with light weights and a low temperature there was a slight cooling effect on the application of tensile force, which, first increasing with the weigths laid on, ultimately changed into a heating effect, increasing much more rapidly than the stretching weight». Temp. vid försöket var $7.^0 8$. Då temperaturen var några grader högre, observerades vid sträckning ingen afkylning utan snarare en liten uppvärmning. Joule gör derefter några bestämningar af dilatationskoefficienten (α) mellan 0^0 och 50^0 vid olika belastningar ($= P$ eng. *lbs*, genomskärningsarean = $^3/_4$ eng. □ tum) och uppgifver följande medelvärden på α:

P lbs	Temp diff. C^0	α
mindre än 7 *lbs*	— —	$+\frac{1}{9009}$
7	$7^0.97$ — $50.^0 1$	$-\frac{1}{3536}$
14	$11^0.3$ — $48^0.6$	$-\frac{1}{2854}$
21	$4^0.4$ — $50^0.0$	$-\frac{1}{2124}$
28	$2^0.9$ — $49^0.6$	$-\frac{1}{1001}$
35	$2^0.6$ — $49^0.8$	$-\frac{1}{687}$
42	$1^0.1$ — 50^0	$-\frac{1}{628}$

Enstaka bestämningar af utvidgningskoefficienten för kautschuk vid någon viss spänning hafva sedan gjorts af flere såsom *Tyndall*[1]), *Pierre*[2]), som funnit, att ospänd kaut-

1) J. Tyndall, Heat considered as a mode of motion. London 1863 p. 87.

2) Pierre, Les Mondes 1869.

schuk utvidgar sig mera än vatten mellan 0^0 och 100^0, *Villari*[1]), som bekräftar Pierres uppgift, *Puschl*[2]), *Grætz*[3]), *Russner*[4]) samt *v. Bjerkén*[5]), som gjort om Joules experiment och för ett kautschukband af 24.5 mm bredd och 0.25 mm tjocklek bestämt lineära utvidgningskoefficienten α vid spänningen P gram och temperaturdifferensen 15^0—45^0. Han erhöll dervid följande värden på α: – 0,00012, – 0.00032 och – 0.00052 för P resp. lika med 50, 200 och 350 gr. Då v. Bjerkén undersökte värmefenomenen vid adiabatisk sträckning, observerade han endast uppvärmning vid sträckning, och denna uppvärmning var mindre än den, som beräknades ur Thomsons formel.

Den kubiska kompressionen och den i samband med densamma stående Poissonska konst för kautschuk har varit föremål för flere undersökningar: *Joule*[6]) har medelst spec. vigtsbestämningar undersökt volymsförändringen vid sträckning och för vulkaniserad kautschuk funnit en liten volymstillväxt. *Villari*[7]) har likaledes endast observerat en liten volymstillväxt och funnit, att den Poissonska konstanten (μ) eller förhållandet mellan den lineära tvärkontraktionen och förlängningen vid sträckning är $\mu = \frac{1}{3}$, då förlängningen ej uppgår till stafvens längd, men mindre än $\frac{1}{3}$ för större förlängningar. Samma iakttagelser har också Wertheim gjort. *Röntgen*[8]) uppmätte axlarne i de ellipser, hvartill en på en kautschukstaf tryckt cirkel förvandlades vid olika spänning, och fann, att vid *små* förlängningar af osträckt och måttligt (»mässig») sträckt kautschuk μ

1) E. Villari, Pogg. Ann. 143 p. 88 o. 290. 1871 och 144 p. 274. 1872.
2) K. Puschl, Journal de Physique V p. 30. 1876.
3) L. Grætz, Wied. Ann. 28 p. 354. 1886.
4) J. Russner, Wied. Ann. 43 p. 533. 1891.
5) P. v. Bjerkén, Wied. Ann. 43 p. 817. 1891.
6) Joule, l. c.
7) Villari, l. c.
8) W. C. Röntgen, Pogg. Ann. 159 p. 601. 1876.

nästan uppnår värdet 0.50. Han fäster äfven uppmärksamheten på orsaken till de för kautschuk så olika uppgifna värdena på μ och visar, att Wertheims och Villaris observerade värden först i tredje decimalen afvika från de värden, som skulle erhållits för en kropp, som vid sträckning ej ändrade volym. Det af Röntgen erhållna värdet på μ har sedermera konstaterats af *Amagat*[1]), *Mallock*[2]), *v. Bjerkén*[3]) samt *Pulfrich*[4]), hvilken senare derjämte kommit till det märkvärdiga resultatet, att μ är oberoende af den elastiska efterverkan.

De älsta bestämningarne af elasticitetskoefficienten (e) för kautschuk äro gjorda af *Boileau*[5]) och *Villari*[6]), af hvilka Villari funnit 3 elasticitetskoefficienter för kautschuk »einen grossen, gleichsam constanten und manchmal gleich 13 oder 14, einen dritten oder kleinen, ebenfalls gleichsam constant und manchmal vor dem Abreissen gleich 0.0034 und endlich einen mittleren oder veränderlichen, der rasch abnimmt und den ersten mit dem dritten Coefficienten verknüpft». Den första koefficienten upphör, då stafven blifvit förlängd med sin egen längd. — Vid elasticitetsbestämningar för kroppar i allmänhet och särskildt för kautschuk visade det sig snart nödvändigt att taga hänsyn till en ny sak nämligen den elastiska efterverkan. Denna har 1841 upptäckts af *W. Weber*, som för densamma uppgifvit formeln

$$x = \frac{C}{(t + a)^p},$$

der x = den spända trådens afstånd från det slutliga jämvigtsläget, t = tiden, som förflyter efter belastningens anbringande, C, a och p äro konstanter. Webers formel har sedermera *F. Kohlrausch*[7]) ersatt med $x = ct^{-a}$ och $x = ce^{-at^m}$

1) E. H. Amagat, Comptes Rendus 69 p. 130. 1884.
2) A. Mallock, Roy. Soc. Pr. London 46 p. 233. 1889; 49 p. 458. 1891.
3) v. Bjerkén, l. c.
4) C. Pulfrich, Wied. Ann. 28 p. 87. 1886.
5) P. Boileau, Comptes Rendus 42 p. 933. 1856.
6) Villari, l. c.
7) F. Kohlrausch, Pogg. Ann. 155 p. 579. 1875 samt 158 p. 337. 1876.

samt *Neesen*[1]) med $x = ce^{-\beta t}$, der x och t hafva samma betydelse som förut och c, α, a, m och β äro konstanter. Den elastiska efterverkan har ansetts kunna gifva förklaring af fasta kroppars molekulära byggnad och har derför varit underkastad noggranna undersökningar. För kautschuk hafva *F. Kohlrausch*[2]) och *Neesen*[3]) funnit en minskning i den elastiska efterverkan, då temperaturen stiger. Vidare har *Hesehus*[4]) observerat, att om kautschuk sträckes ett ögonblick och strax åter öfverlemnas åt sig själf, han genast återtager sin ursprungliga längd, samt att den elastiska efterverkan är mindre i mindre täta kautschuksorter än i sådana, som ega större täthet. På såväl statisk som dynamisk väg hafva sedan elasticitetsbestämningar öfver kautschuk utförts af *Mallock*[5]), som dervid funnit, att den på dynamisk väg erhållna elasticitetsmodylen är större än den på statisk väg observerade.

Studier öfver elasticitetens beroende af temperaturen hafva för kautschuk först blifvit gjorda af *Schmulewitsch*[6]). Han förklarade den negativa dilatationskoefficienten för sträckt kautschuk genom det antagandet, att värme dels utvidgar kautschuk dels ökar dess elasticitetsmodyl, och sökte experimentelt påvisa elasticitetsmodylens tillväxt med temperaturen genom att bestämma den ton, som en sträng gaf, hvilken i ena ändan var fästad vid en kautschukcylinder. Då denne senare uppvärmdes gaf strängen en högre ton, d. v. s. elasticitetsmodylen hade vuxit med temperaturen. *Exner*[7]) har opponerat sig mot den förklaring, Schmulewitsch gifvit af den positiva och negativa temperaturdilatationen, och anser, att Schmulewitsch' misstag skulle berott derpå, att kautschuk har en viss struktur. Själf sökte han bestämma elasticitetsmodylens beroende af temperaturen

1) T. Neesen, Pogg. Ann. 153 p. 498. 1874, Wied. Ann. 7 p. 460. 1879.
2) F. Kohlrausch, l. c.
3) F. Neesen, l. c.
4) N. A. Hesehus, Beiblätter 7 p. 654. 1883.
5) Mallock, l. c.
6) G. Schmulewitz, Pogg. Ann. 144 p. 280. 1871.
7) F. Exner, Wien. Ber. 69 p. 102. 1874.

genom att undersöka ljudets hastighet i kautschuk vid olika temperaturer. Af hans undersökningar framgår, att för en temperaturstegring af 50^0 elasticitetsmodylen för kautschuk minskas till en tredjedel. En minskning i elasticitetsmodylen har äfven *Neesen*[1]) observerat. Han använde torsionssvängningar, svängningstiden = 2—4 sekunder, och fann, att minskningen uppgick till hälften mellan 12^0 och 34^0. *Miller*[2]) har gjort elasticitetsbestämningar för åtskilliga metaller, hvalfiskben och kautschuk och dervid funnit sig föranlåten att skilja mellan en primär elasticitetsmodyl E_p, som förefinnes vid första belastningen, och en sekundär modyl E_s, som inträder efter en 4—5 gånger upprepad sträckning, och som förhåller sig mycket mer regelbundet än den förra. Den sekundära modylens beroende af temperaturen (t) uttryckte Miller i formeln $(E_s)_t = (E_s)_0\ (1 + \gamma t)$, der $(E_s)_t = E_s$ vid t^0. γ var negativ för metallerna och numeriskt mindre, ju högre kroppens smältpunkt var; storheterna γ följde samma ordning, som de lineära utvidgningskoefficienterna för värme. Endast för kautschuk var γ positiv. Miller har för 10^0, 20^0 och 30^0 angifvit E_s för kautschuk och dervid mellan 10^0 och 30^0 funnit en tillväxt i E_s uppgående till 114 %. Han tillerkänner dock ej sina observationer öfver kautschuk några anspråk på noggrannhet.

Genom att låta en metalltråd genomgå en sluten cirkelprocess, har prof. *Dahlander*[3]) deducerat ett samband mellan elasticitetskoefficientens $\left(e = \frac{1}{E}\right)$ förändring med temperaturen (T) samt dilatationskoefficientens (α) beroende af spänningen (P), hvilket samband han uttrycker genom formeln

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{de}{dT} = \frac{d\alpha}{dP},$$

1) Neesen, l. c.

2) A. Miller, Münch. Ber. 1882 p. 377; 1885 p. 9 samt Abh. zur Münch. Ber. 1886 p. 707.

3) G. R. Dahlander, Öfvers. af Vetenskaps-Ak. Förh. 28 p. 703. 1871.

der a = trådens genomskärningsarea. *Græetz*[1]) kompletterar ofvanstående formel och sätter

$$\frac{d\alpha}{dP} = \frac{1}{a} \cdot \frac{de}{dT} + \delta \cdot l ,$$

der l = trådens längd och δ är en konstant, som kan vara positiv (metalltrådar), negativ eller noll. Angående de af Schumlewitsch och Exner gjorda experimenten säger Grætz: »Diese Experimente (Schumlewitsch') geben aber, da sie auf Bestimmung der Schwingungszahl beruhen, nicht den isothermischen Elasticitätsmodul E, sondern den isentropischen S, beweisen also für die vorliegende Frage nichts, da die Gleichung besteht: $S = \frac{c_p}{c_v} E$, und man nicht weiss, ob das Verhältniss $\frac{c_p}{c_v}$ der specifischen Wärme sich beim Kautschuk nicht sehr stark mit der Temperatur (und dem Drucke) ändert. Auch die Versuche von Exner, der direct die Schallgeschwindigkeit im Kautschuk mass, führen auf den adiabatischen Elasticitätsmodul. — Zur Untersuchung der Abhängigkeit des isothermen Elasticitätsmoduls von der Temperatur sind also die akustischen Methoden unbrauchbar, und es bleiben nur die gewöhnlichen Methoden der Ausdehnung oder Torsion oder Biegung». Själf bestämde Grætz medelst torsionssvängningar torsionsmodylens (F) beroende af temperaturen. Formeln $F = \frac{E}{2(1 + \mu)}$ ger sedan elasticitetsmodylens (E) beroende af F, för så vidt ej μ märkbart ändrar sig. F:s beroende af svängsningstiden (t) angifves af formeln $F = \frac{c}{t^2}$, der c = konstant. Dess beroende af temperaturen T uttryckte Grætz genom den qvadratiska formeln

$$F_T = F_{20} \{ 1 + \alpha(T - 20) + \beta(T - 20)^2 \} .$$

För svart kautschuk var mellan 20^0 och 52^0 $\alpha = 0.005922$ samt $\beta = -0.000096$, och mellan 18^0 och 49^0, då stafven

1) L. Grætz, Wied. Ann. 28 p. 354. 1886.

var starkare spänd, $\alpha = 0.00455$ samt $\beta = + 0.000121$. Slutligen har *Russner*[1]) medels sträckförsök undersökt »Die Abhängikeit der Elasticität des Kautschuks von der Temperatur». Mot den akustiska metoden att bestämma elasticitetens beroende af temperaturen anmärker han ej något utom mot Schumlewitsch' experiment, ty vid detsamma kunde den vid strängen fästade kautschuken ej förkorta sig, hvarföre spänningen i strängen måste ökas. Föranledd af *Kundts*[2]) upptäckt, att spänd kautschuk visar dichroismus och således hör till anisotropa kroppar, för hvilka Fiseau funnit, att de med afseende på utvidgning genom värme förhålla sig så som med afseende på ljusfenomen, anser Russner, att Græctz' experiment ej bevisar något, ty, säger han, man kan mycket väl observera en minskning i svängningstiden (t), utan att torsionsmodylen (F), beräknad ur $F = \frac{c}{t^2}$, behöfver ha vuxit, ty $F = \frac{2\pi}{g} \cdot \frac{Kl}{t^2 r^4}$ . . .

$T_x = \frac{2\pi}{g} \cdot \frac{Kl}{t_1^2 r^4} \frac{1 + \alpha x}{(1 + \beta x)^4}$, der K = tröghetsmomentet, l = trådens längd, r = hans radie, x = temperaturen samt α och β de lineära dilatationskoefficienterna för sträckt kautschuk i längd- och tvärriktningen, α är negativ, men β är sannolikt positiv. Vid sina egna försök eliminerade Russner den elastiska efterverkan genom att observera förlängningarne 1 minut efter belastningen och sedan hvar 5:te minut. De vid belastningarne använda vigterna uppgingo ej till 2 gr per mm^2 utom vid ett enda försök med en grå kautschuksort. För ren, rå kautschuk aftog elasticitetsmodylen med ung. hälften, då temperaturen höjdes från 19^0 till 45^0, för svart vulkaniserad kautschuk deremot fann Russner, att den mot en gifven belastning svarande förlängningen (λ) vid högre temp. var nästan lika eller till och med mindre än vid lägre temp., men, anmärker han, $E_0 = \frac{lP}{ql}$, således $E_x = \frac{l(1 + \alpha x)}{q(1 + \alpha x)^2} \cdot \frac{P}{\lambda_1} = \frac{lP}{q(1 + \alpha x) \cdot \lambda_1}$ (q = genomskärnings-

1) J. Russner, Wied. Ann. 43 p. 533. 1891.

2) A. Kundt, Pogg. Ann. 151 p. 125. 1874

arean), således kan E_x vara mindre än E_0, äfven om $\lambda_1 < \lambda$, ty man kan ha $(1 + \alpha x)\lambda_1 > \lambda$. Af sina undersökningar sluter Russner, att elasticitetsmodylen för kautschuk aftager, då temperaturen stiger.

Ofvanstående historik visar, att den elastiska efterverkan hos kautschuk aftager vid högre temp., hvaraf följer, att vid t. ex. sträckning den momentana förlängningen, som svarar mot en viss belastning, kan vara mindre vid lägre temp. än vid högre och dock den slutliga förlängningen i förra fallet vara större än i det senare. Skiljde man mellan en momentan elasticitetsmodyl, som skulle svara mot den momentana förlängningen omedelbart efter belastningens anbringande, och en slutlig elasticitetsmodyl, som skulle motsvara hela den slutliga förlängningen, så skulle de akustiska metoderna lämpa sig för bestämningar af det förra slaget samt någon statisk metod för det senare. (En kombination af båda torde ge goda resultat på den elastiska efterverkan). Som emellertid kropparnes molekelära byggnad betingar den längre eller kortare tid, som erfordras för den mot en viss kraft och temp. svarande formförändringen, är den slutliga elasticitetsmodylen måttet på en kropps elasticitet. De akustiska metoderna egna sig alltså ej för bestämning af elasticitetsmodylen [1]). Detta har redan Grætz insett, men han gjorde ej klart för sig det inflytande, som den elastiska efterverkan utöfvade på undersökningarne i fråga, hvarföre äfven hans undersökningsmetod delvis träffas af samma anmärkning som den akustiska. Af den elastiska efterverkan kommer nämligen blott en ganska ringa del att göra sig gällande vid torsionssvängningar, särskildt om svängningstiden är så kort, som den Neesen användt, men äfven om densamma skulle gå upp till 35 sek., såsom Grætz låtit den göra. Undersökningar af elasticitetsmodylen måste således göras medelst någon statisk metod. Sådana hafva också, då hänsyn tagits till temperaturens inflytande, blifvit gjorda af Miller och Russner, men dessa hafva kommit till motsatta resultat.

1) Se F. Kohlrausch, Pogg. Ann. 158 p. 265. 1876.

Som vidare ingen bland dem, som undersökt elastacitetsmodylens beroende af temp., observerat temperaturdilatationens beroende af spänningen, har således ej något numeriskt samband mellan elasticiteten och temperaturdilatationen för kautschuk påvisats. En detaljerad undersökning af ifrågavarande samband torde emellertid hafva ett ganska stort teoretiskt intresse.

Om kautschuks absorption af paraffinolja och paraffin.

Så vidt mig är bekant föreligga i tryck inga observationer öfver fasta kroppars absorption af vätskor, hvilket torde bero derpå, att dylika fenomen äro mycket sällsynta. På grund af en iakttagelse öfver kautschuks starka absorption af paraffinolja har f. d. Laboratorn vid härvarande Fysiska Institution Hr Professor K. Ångström välvilligt föreslagit mig att undersöka detta fenomen och andra i samband dermed stående. Min första uppgift var då att studera sjelfva absorptionen. I och för detta anskaffades snören af svart, ren kautschuk [1]), hvilkas genomskärningsarea var i det närmaste qvadratisk och = 4.2 mm^2 i medeltal. Deras täthet var = 0.90166 vid temp. 17^0.4. Af dessa snören afskuros stafvar af ung. 3.5 cm:s längd, hvilka nedstuckos i små glaskolfvar, fylda med ren paraffinolja. Tid efter annan upptogos kautschukstafvarne, aftorkades väl mellan filtrerpapper och vägdes, hvarigenom man fick ett mått på den absorberade vätskemängden. Tre sam-

1) Enligt en analys, som Fil. Kand. C. von Schéele utfört å härvarande kemiska institution, innehåller den undersökta kautschuken mellan 2.5—3.0 % svafvel. Vulkaniserad kautschuk håller i regel aldrig under 12 % svafvel.

manhängande längre observationsserier gjordes, den första (I) vid rumstemperatur, 16^0 ung., den andra (II: a) först vid rumstemperatur samtidigt med den första sedan (II: b) vid 0^0 och den tredje (III) vid 0^0. Resultaten, som dervid erhöllos, äro återgifna i tabellerna I, II och III samt grafiskt framstälda i plansch II. I tabellerna betecknar:

T den tid kautschukstafven legat i paraffinolja,
M kautschukstafvens vigt (gr massa),
M' mängden absorberad paraffinolja,
$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$ absorptionsmängden per timme sedan näst föregående vägning samt
$A = \frac{M'}{M}$ absorptionsmängden per massenhet.

I plansch II är T abscissa och A ordinata.

Af de anförda siffrorna och kurvorna synes, att absorptionsmängden M' i början ökas mycket hastigt, derefter på ett mellanstadium får en allt mindre rask tillväxt och slutligen tilltager ytterst långsamt. Kurvorna 1 och 2 äro symmetriska och efter någon viss tid nästan parallela, så länge temperaturen är densamma för båda observationsserierna, men afvika från hvarandra, så snart detta icke blir fallet. Kurvan 3 visar, att absorptionsförmågan är betydligt mindre vid 0^0 än vid rumstemperatur. Några observationer öfver absorptionen vid 100^0 finnas antecknade i tab. IV, hvaraf man ser, att vid så hög temperatur paraffinolja ytterst hastigt absorberas af kautschuk. Det synes af de uppritade kurvorna, som om kautschukstafvarne skulle uppnå ett slutligt mättningsstadium, hvars storlek vore beroende af temperaturen. Att så måste vara förhållandet åtminstone vid 0^0 visar kurvan 2, ty då den absorberade vätskemängden i förhållande till kautschukstafvens ursprungliga massa var = 3.840, kunde kautschukstafven vid 0^0 ej bibehålla den absorberade paraffinoljan utan afgaf så småningom en del af densamma, hvilket antyder, att mättningsstadiet vid 0^0 är mindre än 3.840. Någon nöjaktig matematisk formel, som representerar A:s beroende af T,

har jag ej lyckats finna för någon af de tre kurvorna i sin helhet eller för större längder af desamme. Sannolikt är absorptionsfenomenet här så kompliceradt, att ej något enkelt matematiskt uttryck kan återgifva detsamma.

Öfver kautschuks absorption af smält paraffin har jag ej någon längre observationsserie af det skäl, att paraffin smälter först vid $43^0.7$ [1]), och jag till mitt förfogande ej hade någon högre konstant temperatur för så lång tid, som en dylik observationsserie kräfver. Jag har endast några observationer öfver absorptionen under det allra första stadiet, hvilka dock anföras i tab. V, emedan längre fram kommer att meddelas undersökningar öfver några af dessa kautschukstafvar, som absorberat smält paraffin. I tab. V betyder *m* kautschukstafvens vigt (gr massa) före någon absorption, de andre beteckningarne ha samma betydelse som i föregående tabeller. Man ser af tab. V, att kautschuk med samma lätthet absorberar smält paraffin som paraffinolja, samt att absorptionsförmågan nu liksom förut hastigt växer med temperaturen.

1) Se Jamin, Cours de Physique. T. II, Fasc. 2, pag. 108. Paris 1886.

Tab. I.

Kautschuks absorption af paraffinolja vid rumstemp.

T tim.	T min.	M	M'	ΔM'/ΔT	A
0	0	0.1260	0	0	0
2	10	0.1626	0.0366	0.0169	0.290
20	20	0.2559	0.1299	0.0051	1.031
42	10	0.3223	0.1963	0.0030	1.558
89	40	0.4153	0.2893	0.0020	2.296
135	43	0.4698	0.3438	0.0012	2.729
161	33	0.4911	0.3651	0.0008	2.898
183	48	0.5045	0.3785	0.0006	3.004
207	38	0.5176	0.3916	0.00055	3.108
255	26	0.5336	0.4076	0.00033	3.235
278	26	0.5390	0.4130	0.00023	3.278
308	51	0.5466	0.4206	0.00025	3.338
349	21	0.5533	0.4273	0.00017	3.391
373	56	0.5572	0.4312	0.00016	3.422
444	21	0.5641	0.4381	0.00009	3.477
468	21	0.5670	0.4410	0.00012	3.500
493	31	0.5699	0.4439	0.00012	3.523
516	51	0.5708	0.4448	0.00004	3.530
541	1	0.5741	0.4481	0.00014	3.556
586	56	0.5788	0.4528	0.00010	3.594
708	26	0.5932	0.4672	0.00012	3.708
755	59	0.5976	0.4716	0.00009	3.743
785	4	0.6000	0.4740	0.00008	3.762
829	6	0.6027	0.4767	0.00006	3.783
851	24	0.6059	0.4799	0.00014	3.809
881	19	0.6076	0.4816	0.00006	3.822
922	19	0.6084	0.4824	0.00002	3.829
969	24	0.6095	0.4835	0.00002	3.838
1017	4	0.6126	0.4866	0.00006	3.862
1043	7	0.6140	0.4880	0.00005	3.873
1088	17	0.6172	0.4912	0.00007	3.898
1113	37	0.6181	0.4921	0.00004	3.906
1136	32	0.6203	0.4943	0.00010	3.923
1184	24	0.6252	0.4992	0.00010	3.962
1255	24	0.6281	0.5021	0.00004	3.985
1276	46	0.6307	0.5047	0.00012	4.006
1325	20	0.6323	0.5063	0.00003	4.018
1518	17	0.6392	0.5132	0.00004	4.073
1924	57	0.6483	0.5223	0.00002	4.145
2315	23	0.6546	0.5286	0.00002	4.195

Tab. II.

Kautschuks absorption af paraffinolja

a) vid rumstemperatur.

T tim.	T min.	M	M'	$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$	A
0	0	0.1272	0	0	0
1	2	0.1541	0.0269	0.0260	0.211
20	56	0.2567	0.1295	0.0051	1.018
92	20	0.4122	0.2850	0.0022	2.241
139	5	0.4669	0.3397	0.0012	2.671
164	35	0.4883	0.3611	0.00084	2.839
187	15	0.5014	0.3742	0.00058	2.942
210	25	0.5124	0.3852	0.00048	3.028
258	10	0.5292	0.4020	0.00035	3.160
280	56	0.5361	0.4089	0.00031	3.215
311	26	0.5450	0.4178	0.00029	3.285
351	51	0.5532	0.4260	0.00020	3.349
376	6	0.5573	0.4301	0.00017	3.381
446	41	0.5653	0.4381	0.00011	3.444
470	47	0.5678	0.4406	0.00010	3.464
495	47	0.5704	0.4432	0.00010	3.484
519	2	0.5716	0.4444	0.00005	3.494
543	2	0.5742	0.4470	0.00011	3.514
588	55	0.5795	0.4523	0.00012	3.556
710	15	0.5923	0.4651	0.00013	3.656
757	30	0.5961	0.4689	0.00008	3.686
786	35	0.5992	0.4720	0.00011	3.711
830	20	0.6019	0.4747	0.00006	2.732
852	28	0.6029	0.4757	0.00005	3.740
882	28	0.6065	0.4793	0.00012	3.768
923	4	0.6071	0.4799	0.00002	3.773
970	49	0.6087	0.4815	0.00003	3.785
995	39	0.6099	0.4827	0.00005	3.795
1027	34	0.6107	0.4835	0.00003	3.801
1053	40	0.6125	0.4853	0.00007	3.815
1099	10	0.6156	0.4884	0.00007	3.840

b) vid o°.

$T - 1099\ t.\ 10'$		M	M'	$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$	A
tim.	min.				
0	0	0.6156	0.4884	0	3.840
23	40	0.6076	0.4804	— 0.00034	3.777
46	10	0.6054	0.4782	— 0.00010	3.759
70	30	0.6046	0.4774	— 0.00003	3.753
96	58	0.6037	0.4765	— 0.00003	3.746
117	43	0.6026	0.4754	— 0.00005	3.737
167	12	0.6015	0.4743	— 0.00002	3.729
188	56	0.6000	0.4728	— 0.00007	3.717
212	47	0.5988	0.4716	— 0.00005	3.708
237	36	0.5985	0.4713	— 0.00001	3.705
286	26	0.5985	0.4713	± 0	3.705
361	14	0.5983	0.4711	— 0	3.704
501	4	0.5974	0.4702	— 0.00001	3.697
837	4	0.5962	0.4690	— 0.000004	3.687
1293	21	0.5962	0.4690	± 0	3.687
2037	21	0.5973	0.4701	+ 0.000001	3.696
4080	44	0.5996	0.4724	+ 0.000001	3.714

Tab. III.

Kautschuks absorption af paraffinolja vid o°.

T		M	M'	$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$	A
tim.	min.				
0	0	0.1124	0	0	0
2	0	0.1246	0.0122	0.0061	0.109
4	15	0.1340	0.0216	0.0042	0.192
21	15	0.1668	0.0544	0.0019	0.484
44	15	0.1954	0.0830	0.0012	0.738
67	53	0.2182	0.1058	0:00097	0.941
94	53	0.2406	0.1282	0.00083	1.141
115	50	0.2556	0.1432	0.00071	1.274
164	40	0.2858	0.1734	0.00062	1.543
187	7	0.2984	0.1860	0.00056	1.655
210	15	0.3105	0.1981	0.00053	1.762
235	15	0.3224	0.2100	0.00048	1.868
283	50	0.3428	0.2304	0.00042	2.050
358	45	0.3757	0.2633	0.00044	2.342
498	37	0.3941	0.2817	0.00013	2.506
834	49	0.4248	0.3124	0.00009	2.779
1291	18	0.4361	0.3237	0.00002	2.880
2034	57	0.4379	0.3255	0.000002	2.896
4080	33	0.4403	0,3279	0.000001	2.917

Tab. IV.

Kautschuks absorption af paraffinolja vid 100°.

T		M	M'	$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$	A
tim.	min				
0	0	0.1264	0	0	0
1	0	0.3015	0.1751	0.1751	1.385
1	50	0.4002	0.2738	0.1184	2.166
2	50	0.4947	0.3683	0.0945	2.914
4	0	0.5669	0.4405	0.0619	3.485

Tab. V.

Kautschuks absorption af smält paraffin.

T		Temp.	m	M	M'	$\frac{\Delta M'}{\Delta T}$	A
tim.	min.						
1	0	49.0°	0.1135	0.1645	0.0510	0.0510	0.449
5	45	52°	0.4109	0.7654	0.3545	0.0617	0.863
2	0	61°	0.4189	0.7064	0.2875	0.1438	0.686
2	0	74°	0.4035	0.7737	0.3702	0.1851	0.917

Tätheten hos kautschuk under absorption af paraffinolja.

Vid mina undersökningar af absorptionskoefficienten observerades, att kautschukstafvarne, som hade en täthet något större än paraffinoljan, så att de sjönko i densamma, efter att några dagar hafva legat i paraffinoljan flöto upp till vätskeytan för att om någon tid åter sjunka till botten. Denna observation gaf anledning till att närmare studera kautschukens täthetsförhållanden under dess ab-

sorption af paraffinolja. Apparaten, som användes för detta ändamål, utgjordes af en s. k. pyknometer, hvars utseende angifves af den skematiska teckningen i fig. 1 plansch I. *A* är ett glasrör af nära 1 cm^2 genomskärningsarea. I rörets öfre ända är en glaskran *B* inslipad, med hvars tillhjälp *A* kan sättas i förbindelse med kapillärröret *C*. *DEF* är ett kapillärrör, som mellan *E* och *F* är graderadt i mm. Kapillärrörets genomskärningsarea $(16^0) = 0.44955$ mm^2. Volymen af *A* och *DE* tillsammantagna vid $0^0 = 7996.4$ mm^3. — Som observationstiden måste utsträckas öfver flera veckor, och jag ville undvika svårigheten att hålla temperaturen konstant under så lång tid, så var det nödvändigt att först bestämma temperaturkoefficienten för instrumentet. I och för detta fylldes apparaten till något visst delstreck på skalan *EF* med paraffinolja, hvarefter den nedsänktes i en glasbägare fylld med vatten. Apparaten hvilade då på de öfre horizontela delarne af kapillärrören *C* och *EF*. Före hvarje afläsning af paraffinindexens läge i *EF* omrördes vattnet noggrannt, och dess temperatur angafs af en termometer på $0^0.02$ nära. Vid rumstemperatur bestämdes på detta sätt indexens förflyttningar för temperaturintervall af några grader, och som medium af 17 bestämningar erhölls förflyttningen k per grad

$$k = 13.14 \text{ skaldelar.}$$

Glasets utvidgning skulle med antagande af Kohlrausch's[1]) värde på glasets lin. utvidgningskoefficient = 0.0000085 d. v. s. den kubiska = 0.0000255 motsvara en förflyttning af indexen per grad = 0.454 skaldelar. Utvidgningskoefficienten α för paraffinolja vid 17^0 blir således

$$\alpha = 0.0007643 \cdot$$

Såsom längre fram skall visas, har den kubiska medeldilatationskoefficienten mellan 0^0 och 60^0 för kautschukstafvar,

1) F. Kohlrausch, Leitfaden des praktischen Physik p. 341. Leipzig 1887.

som ej absorberat paraffinolja, befunnits vara 0.000762 och 0.000764 d. v. s. mediet

$$\alpha' = 0.000763 .$$

Vid temperaturkorrektionerna har jag således kunnat antaga $\alpha = \alpha'$. Vid täthetsbestämningarne nedlades i pyknometern en eller flere kautschukstafvar af gifven massa och täthet, hvarefter pyknometern fylldes med paraffinolja till något visst delstreck på skalan *EF* och såsom förut ställdes i en bägare med vatten. Den senare stod för undvikande af stora temperaturvariationer i ett fönster, som vette mot norr. Före hvarje afläsning af paraffinoljeindexens läge i kapillärröret *EF* omrördes vattnet i bägaren, och dess temperatur bestämdes med samma noggrannhet som förut. Indexens förflyttning angaf, efter gjorda temperaturkorrektioner, differensen mellan kautschukens volymstillväxt och den absorberade vätskevolymen. Antages de i pyknometern nedlagda kautschukstafvarnes massa $= m$ och täthet $= d$ före absorptionen samt paraffinoljans motsvarande qvantiteter $= m'$ och d', så är, om pyknometerns volym sättes $= v$,

$$\text{a)} \qquad \frac{m}{d} + \frac{m'}{d'} = v .$$

Efter absorption af $\varDelta m'$ gr paraffinolja ändras tätheten d med ε och v med $\varDelta v$. Således blir då

$$\frac{m + \varDelta m'}{d + \varepsilon} + \frac{m' - \varDelta m'}{d'} = v + \varDelta v ,$$

hvaraf

$$\text{b)} \qquad \frac{m + \varDelta m'}{d}\left(1 - \frac{\varepsilon}{d}\right) + \frac{m' - \varDelta m'}{d'} = v + \varDelta v ,$$

emedan $\frac{\varepsilon}{d}$ är en liten qvantitet. Af a) och b) erhålles

$$- \frac{\varepsilon}{d^2}(m + \varDelta m') + \varDelta m'\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d'}\right) = \varDelta v .$$

Men d är i det närmaste lika med d', således

$$\varepsilon = - \frac{d^2}{m + \varDelta m'}\varDelta v .$$

$m + \Delta m'$ eller kautschukstafvarnes massa beräknades med tillhjälp af mina föregående tabeller, då jag bestämt begynnelse- och slutvärdena. d var genom föregående undersökning bekant, och Δv erhölls ur paraffinindexens förflyttning. Två observationsserier gjordes, och resultaten, som dervid erhöllos, återfinnas i tabellerna VI och VII.

Af tabellerna framgår, att tätheten hos kautschuk under dess absorption af paraffinolja först aftager, uppnår ett minimum, derpå tilltager och slutligen blir större än den ursprungligen var. Minimitätheten inträffar i båda fallen, då den absorberande kautschukens massa är mellan 2 och 3 gånger så stor, som den var före absorptionen. Orsaken till en dylik minskning i tätheten torde kunna förklaras sålunda. Under absorptionen mättas till en viss grad kautschukstafvarnes yttersta lager med paraffinolja, dess volym tillväxer och möjligen äfven dess täthet. Från det yttersta lagret diffunderar sedan paraffinoljan till de närmast innanför liggande, som i sin tur tilltaga i volym o. s. v. Då således volymen af kautschukstafvarnes gränsytor ökas, och en dylik ökning, som bekant, medför en tillväxt i det af gränsytorna eller skalet omslutna rummet, så följer häraf, att kautschukstafvarnes kärna måste åverkas af krafter, som sträfva att öka dess volym d. v. s. minska dess täthet. Den slitning, som på detta sätt uppstår mellan de yttre och inre skikten i kautschuken är utan tvifvel mycket stor och visar sig deri, att de fyrkantiga kautschukstafvarnes plana sido- och änd-ytor äro i midten liksom starkt inpressade. Ju längre in i kautschuken paraffinoljan tränger, d. v. s. ju tjockare och fastare skalet blir, desto större blir den ofvannämda slitningen mellan skalet och kärnan. Som emellertid kärnans volym aftar hastigare än skalets tjocklek och fasthet växer, inträffar slutligen ett ögonblick, då kärnans volymstillväxt på grund af slitningen uppnått ett maximum. Detta maximum inträffar, emedan massan oafbrutet ökas genom absorptionen, kort efter det kautschukstafvens medeltäthet passerat sitt minimum.

En väsentlig olikhet i de båda försöksserierna består deri, att täthetsförminskningen i tab. VI är betydligt större

och inträffar senare än i tab. VII, men temperaturen är också, såsom synes af tabellerna i förra fallet lägre än i det senare. Absorptionsförmågan är mindre vid lägre temperatur än vid högre, och det är derföre naturligt, att minimitätheten inträffar senare i första serien VI. Men då absorptionsförmågan är liten, och således diffusionen går långsamt, är det mycket sannolikt att skalets mättningsgrad vid minimitätheten är större, då temperaturen är låg, än då den är högre, och således äfven skalets utvidgning större i förra än i senare fallet. Häraf följer i sin ordning, att den ofvannämda slitningen mellan skalet och kärnan är störst vid lägre temperatur.

Gemensamt för de båda tabellerna är, att tätheten slutligen blir större än för ren kautschuk d. v. s. kautschuk förhåller sig såsom en porös kropp, hvars täthet ökas derigenom, att dess porer fyllas med något ämne.

Tab. VI.

Täthetsbestämningar för en kautschukstaf (urspr. massa = 0.1800 gr) efter absorption af paraffinolja vid rumstemperatur under tiden (t).

Tid Tim.	Tid min.	Temp.	Massa (beräknad) $=m+\Delta m'$	$1+\frac{\Delta m'}{m}$	Indexens förflyttning korrigerad till konst. temp.	ε eller afvikelserna från begynnelsetätheten (=0.90166)
0		13°.32	0.1800	1	0	0
0	23	13°.32	0.1855	1.031	+ 0.4	— 0.00079
0	46	13°.24	0.1910	1.061	+ 1.7	— 0.00325
3	1	13°.30	0.2160	1.200	+ 4.2	— 0.00711
7	17	13°.62	0.2422	1.346	+ 6.6	— 0.00996
25	7	14°.00	0.3258	1.810	+ 14.2	— 0.01593
47	57	14°.26	0.3558	1.977	+ 17.1	— 0.01757
56	2	15°.64	0.3694	2.052	+ 22.8	— 0.02256
80	**17**	**16°.18**	**0.4095**	**2.275**	**+ 25.3**	**— 0.02258**
124	0	16°.32	0.4595	2.553	+ 25.7	— 0.02044
128	0	15°.28	0.4630	2.572	+ 21.8	— 0.01721
151	32	13°.34	0.4823	2.679	+ 16.6	— 0.01258
171	32	12°.02	0.4944	2.747	+ 12.9	— 0.00954
242	43	15°.76	0.5217	2.898	+ 12.5	— 0.00876
359	17	14°.80	0.5433	3.018	+ 12.1	— 0.00814
391	57	16°.44	0.5469	3.038	+ 11.1	— 0.00742
408	32	15°.14	0.5485	3.047	+ 10.8	— 0.00720
462	37	14°.96	0.5532	3.073	+ 10.2	— 0.00674
104 dagar		16°.66	0.6278	3.488	— 42.3	+ 0.02462

Tab. VII.

Täthetsbestämningar för 5 kautschukstafvar med en sammanlagd massa af 0.9043 gr efter absorption af paraffinolja vid rumstemperatur under tiden (t).

Tid tim.	Tid min.	Temp.	Massa (beräknad) $= m + \Delta m'$	$1 + \frac{\Delta m'}{m}$	Indexens förflyttning korrigerad till konst. temp.	ε eller afvikelserna från begynnelsetätheten (= 0.90166)
0		17°.20	0.9043	1	0	0
1	0	16°.90	1.0253	1.134	+ 3.9	— 0.00139
23	21	17°.84	2.1197	2.344	+ 30.7	— 0.00529
23	52	17°.70	2.1260	2.351	+ 30.9	— 0.00531
40	18	16°.78	2.2969	2.540	+ 37.0	— 0.00589
43	**20**	**17°.30**	**2.3295**	**2.576**	**+ 38.0**	**— 0.00596**
47	12	17°.42	2.3835	2.636	+ 35.1	— 0.00538
62	2	17°.16	2.5935	2.868	+ 18.6	— 0.00262
89	36	19°.20	2.9805	3.296	— 10.6	+ 0.00130
91	0	17°.92	2.9923	3.309	— 12.7	+ 0.00155
140	40	25°.80	3.4201	3.782	— 63.8	+ 0.00682
144	10	24°.68	3.4535	3.819	— 67.8	+ 0.00718
162	15	26°.06	3.5278	3.901	— 81.8	+ 0.00848
168	0	26°.80	3.5530	3.929	— 86.2	+ 0.00887

Kompressibiliteten hos ren kautschuk och hos kautschuk, som absorberat paraffinolja.

Kautschuk är, som bekant, i kemiskt afseende ej definierbar, och dess täthet, elasticitet och dilatation m. m. variera så mycket för olika slag af kautschuk, att absoluta bestämningar af dess fysiska konstanter blott äga ett underordnadt värde. Det är derför i de flesta fall nog med relativa bestämningar, särskildt då man blott vill studera de s. k. konstanternas föränderlighet. Mina bestämningar af den kubiska kompressibiliteten afse endast att visa dess

föränderlighet med trycket och absorptionsmängden, hvarföre jag i närvarande fall blott behöfde relativa, sinsemellan komparabla bestämningar. Apparaten (Plansch I, fig. 2), som användes, utgjordes af ett glasrör *A* (kompressionskärlet) med en inslipad genomborrad glaspropp B, hvilken fortsattes af ett upptill öppet graderadt kapillärrör *C*. *A*:s volym = 8.30 cm.^{3} och *C*:s genomskärningsarea = 1.4 mm^2. Kompressionerna åstadkommos medelst en Oersteds piezometer och trycken mättes af en 30 cm lång manometer. Först bestämdes, i fullständig analogi med Oersteds[1]) metod, relativa kompressionskonstanterna k och k_1 för vatten och paraffinolja, och befanns, då mediet togs af öfver 20 bestämningar,

$k = 0.31$ skaldelar för vatten och

$k_1 = 0.32$ „ „ paraffinolja,

då med kompressionskonstanterna k och k_1 förstås kompressionerna af de i *A*, *B* och till ett visst delstreck på *C* inneslutna vätskorna för en atmosfers öfvertryck. Öfvertrycken varierade mellan 0.5 och 6 atmosferer, inom hvilka gränser ej kunde observeras några variationer i k och k_1 beroende på tryckets storlek.

Sedan k och k_1 sålunda blifvit bestämda, undersöktes kompressionen för ren kautschuk på det sätt, att kautschukstafvar (Volym = V cm^3) nedlades i kompressionskärlet *A*, som sedan fylldes med vatten till ett gifvet märke på *C*. Derefter gjordes observationerna såsom förut. Anmärkas bör, att alltid jämvigtsläget för vätskemenisken i *C* undersöktes mellan hvarje observation. Antag P = öfvertrycket i atmosferer och δ = antalet skaldelar vattnet och kautschuken komprimerats. Kautschukstafvarne ensamt ha då komprimerats

$$\delta = \frac{8.3 - V}{8.3} \cdot 0.31 \cdot P \text{ skaldelar}$$

d. v. s. kompressionen $\varkappa$ (i skaldelar) per volymsenhet och en atmosfer blir

$$\varkappa = \frac{\delta}{V . P} = \frac{8.3 - V}{V . 8.3} \, 0.31 .$$

1) Oersted, Se Jamin, Cours de Physique I: 2 p. 155. Paris 1891.

Resultaten återfinnas i tab. VIII och IX. Såsom man redan af tab. VIII ser, är $\varkappa$ beroende af tryckets storlek. Tab. IX representerar en observationsserie, der trycken gradvis ökats med ung. 0.5 atmosferer åt gången, och här framträder det antydda beroendet ännu tydligare. Kompressionskoefficienten aftar, då trycket ökas d. v. s. förhåller sig på samma sätt som den lineära elasticitetskoefficienten (Se historiken). Antages

$$\varkappa = a + bP + cP^2,$$

der $a = 9.94$, $b = -0.62$ och $c = -0.048$ (beräkn. ur 3 bestämn.), så fås de beräknade $\varkappa$ — värdena, som återfinnas i näst sista kolumnen till höger i tabellerna under rubriken $\varkappa^1$. Differensen $\varkappa - \varkappa^1$ uppgår ej till så mycket som 0.3, och då vid afläsning af vätskemeniskens läge i kapillärröret C fel på någon tiondels skaldel kunna begås, må ofvanstående eqvation anses ganska bra representera den funktion $\varkappa$ är af trycket P mellan gränserna 0.5 och 5.5 atmosferer vid temp. 17°.

Kompressionen $\varkappa_1$ för kautschuk efter absorption af paraffinolja bestämdes på samma sätt som för ren kautschuk. Här blef

$$\varkappa_1 = \frac{\delta_1}{V_1 P_1} - \frac{8.3 - V_1}{8.3 \cdot V_1} \cdot 0.32,$$

i hvilket uttryck δ_1 såsom förut δ betecknar det antal skaldelar, paraffinoljan och de i densamma nedlagda kautschukstafvarne komprimerats vid ett öfvertryck af P_1 atmosferer. Här är V_1 = kautschukstafvarnes volym före någon absorption af paraffinolja. Hvarföre detta konstanta värde på V_1 bibehållits och ej volymen ur anförda tabeller öfver absorptionsförmågan och öfver tätheten under absorptionen beräknats vid hvarje särskild bestämning, beror å ena sidan derpå, att absorptionskurvan i närvarande fall, då trycket ej är konstant, sannolikt ej har samma regelbundna förlopp, som förut är angifvet, och å andra sidan derpå, att man på detta sätt bäst torde inse själfva kautschukmassans förhållanden till kompressionerna. Några utförligare undersökningar öfver $\varkappa_1$:s beroende af trycket vid olika mättningsstadier under absorptionen i analogi med dem i tab. IX

har jag ej gjort af det skäl, att min närmaste afsigt var att studera kompressionskonstantens storlek på kända mättningsstadier, och jag alltså ville undvika att någon längre tid utsätta kautschukstafvarne för annat tryck än atmosfertryck. Hvarje observation tog nämligen i anspråk en viss tid, emedan man måste göra afläsningarne först då temperaturvariationerna, som uppstå vid tryckförändringarne, hunnit utjämnas, hvarför en dylik sammanhängande observationsserie skulle tagit så lång tid, att mättningsstadiet derunder skulle märkbart ändrats. Tab. X och XI återgifva de resultat, som erhållits vid tvänne försök. För att få komparabla värden för samma öfvertryck t. ex. en atmosfer, som jag valt, har jag interpolerat och några gånger extrapolerat under antagande af en lineär relation mellan $\varkappa_1$ och P_1, hvilket antagande torde gifva nöjaktiga värden, enär i de flesta fall observationer äro gjorda i närheten af en atmosfers öfvertryck. T = den tid, hvarunder kautschukstafvarne absorberat paraffinolja.

I såväl tab. X som XI finner man, att $\varkappa_1$ först växer och uppnår ett maximum samt sedan aftager och blir mycket mindre än begynnelsevärdet. Maximivärdet på $\varkappa_1$ i tab. X är mer än dubbelt större än $\varkappa$ är för ren kautschuk vid $P = 1$ atmosfer och i tab. XI är $\varkappa_1$ (maximum) ung. = 2 $\varkappa$. Temperaturen var i förra fallet lägre än i det senare. Jämföras tab. X och XI med tab. VI och VII, särskildt XI med VII, hvilka representera 2 samtidiga observationsserier, utförda i samma laborationsrum, så finner man:

1) att $\varkappa_1$ växer, under det tätheten *(d)* aftar,

2) att $\varkappa_1$ har ett maximum ungefär samtidigt med det d har ett minimum, och att dessa, maximum och minimum, äro mest utpräglade vid låg temperatur,

3) att $\varkappa_1$ derefter hastigt aftager under det d växer, och

4) att variationerna i $\varkappa_1$ äro betydligt större än i d.

Det måste på grund häraf finnas ett visst samband mellan $\varkappa_1$ och d, och detta samband torde delvis kunna inses genom att fullfölja de häntydningar, som förut gjorts till förklaring af täthetens variation under absorptionen af

paraffinolja. Den särskildt under första absorptionsstadiet uppkomna bristen i homogenitet hos kautschukstafvarne, hvilken framkallade talet om ett skal och en kärna, som ej utan sträckning fyller ut skalet, ger en osökt anledning att såsom jämförelse tänka på en gedigen och på en ihålig parallelipiped och dessas förhållande till samma kompression.

Det som i tab. X och XI är mest anmärkningsvärdt, och som på grund af den hastigare absorptionen vid hög temperatur först och starkast framträder i tab. XI är, att $\varkappa_1$ slutligen blir så ytterligt litet nämligen = 0.05 skaldelar per volymsenhet och en atmosfer. (För vatten och paraffinolja var kompressionen per 8.3 volymsenheter och en atmosfer respektive $k = 0.31$ och $k_1 = 0.32$ d. v. s. per volymsenhet k och $k_1 = 0.04$). Det synes således, som om kompressibiliteten hos kautschuk i rent tillstånd berodde på en viss porositet eller kanske blott på intermolekulära mellanrum, hvilka kunna fyllas af paraffinolja, hvarefter själfva kautschukmassan eller dess molekyler visade sin karaktär af att vara fullkomligt inkompressibla. Detta är, som bekant, i fullständig öfverensstämmelse med den allmänna åsigten om orsaken till kroppars elasticitet.

Tab. VIII.

Kompressionen för ren kautschuk vid 17^0

M = 0.4589 gr V = 0.5148 „ „

P	δ	$\varkappa$	$\varkappa^1$	$\varkappa - \varkappa^1$
1.504	7.3	8.86	8.90	— 0.04
3.293	13.75	7.55	7.38	+ 0.17
4.051	15.5	6.87	6.64	+ 0.23
2.268	10.45	8.39	8.29	+ 0.10
5.127	16.55	5.71	5.50	+ 0.21
5.127	16.4	5.65	5.50	+ 0.15
1.296	6.4	9.03	9.06	— 0.03
2.975	12.4	7.53	7.67	— 0.14
2.170	9.8	8.21	8.37	— 0.16
5.417	16.4	5.32	5.17	+ 0.15

Tab. IX.

Kompressionen för samma kautschukstafvar som i tab. VIII.

P	δ	$\varkappa$	$\varkappa^1$	$\varkappa - \varkappa^1$
0.615	3.2	9.54	9.54	± 0.00
1.188	6.0	9.25	9.14	+ 0.11
1.699	8.4	9.04	8.75	+ 0.29
2.230	10.2	8.32	8.32	± 0.00
2.776	12.0	7.83	7.85	— 0.02
3.227	13.3	7.44	7.44	± 0.00
3.834	14.4	6.73	6.86	— 0.13
4.323	14.9	6.13	6.36	— 0.23
4.940	15.8	5.65	5.71	— 0.06
5.386	16.0	5.21	5.21	± 0.00

Tab. X.

Kompressionen af kautschuk under absorption af paraffinolja. $M_1 = 0.4774$ gr, $V_1 = 0.5287$ cm^3, Temp. = 16^0 ung.

T	P_1	δ_1	$\varkappa_1$	$\varkappa_1$ för $P = 1$ atm.
25 min.	0.816	5.3	11.72	11.66
	2.889	15.8	9.78	
	0.911	6.0	11.89	
45 min.	0.823	6.4	14.14	13.26
	3.525	18.6	9.41	
	0.828	5.9	12.91	
16 tim.	4.065	20.9	9.16	15.05
	0.915	7.7	15.35	
	3.378	19.1	10.13	
	1.023	8.4	14.96	
	3.631	20.0	9.85	
17 t.	1.033	8.8	15.55	15.63
	2.867	17.8	11.18	
	3.954	20.0	9.00	
41 t.	0.733	9.8	24.72	**22.74**
	0.745	9.3	23.04	
	4.289	20.3	8.39	
42.5 t.	1.134	7.8	12.44	12.68
	3.667	16.5	7.94	
48.5 t.	1.654	9.8	10.64	10.64+
66.5 t.	1.067	5.9	9.89	9.98
	3.562	13.3	6.50	
102.5 t.	0.654	2.9	7.82	7.15
	3.725	4.8	1.87	
157 t.	1.272	0.9	0.77	0.77+
173 t.	0.909	0.6	0.68	0.67
	2.463	1.5	0.59	

Tab. XI.
Kompressionen för kautschuk under absorption af paraffinolja. $M_1 = 0.9086$ gr, $V_1 = 1.0077$ cm^3. Temp. lika med de på motsvarande tider antecknade i tab. VII.

T	P_1	δ_1	$\varkappa_1$	$\varkappa_1$ för $P_1 = 1$ atm
15 min.	2.662	31.0	11.28	11.48
	2.997	34.8	11.24	
18.5 tim.	4.463	37.3	8.02	12.24
	1.519	18.2	11.61	
24 t.	0.979	14.1	14.01	13.97
	2.247	26.4	11.38	
40 t.	**1.003**	**19.1**	**18 62**	**18.62**
43 t.	4.526	25.3	5.27	6.68
	0.983	6.9	6.69	
47 t.	0.981	4.3	4.07	4.06
	2.647	8.4	2.87	
68 t.	0.928	2.2	2.07	2 06
	2.854	5.9	1.77	
89 t	0.866	0.9	0.75	0.75—
118 t.	0.886	0.8	0.62	0.49
	0.913	0.8	0.59	
160 t.	0.895	0.5	0.28	0.28—
168 t.	0.895	0.3	0.05	0 05
	4.998	1.5	0.02	
	0.903	0.3	0.05	

Kubiska dilatationskoefficienten α_c för kautschuk.

Med undantag af Joules bestämning af α_c för kautschuk vid temp. 4^0 finnes det, mig veterligt, ej några direkta undersökningar af α_c:s numeriska storlek, ty de experimentatörer, som anfört numeriska värden på α_c, hafva ej bestämt α_c, utan den lineära dilatationskoefficienten α_l och sedan antagit $\alpha_c = 3\ \alpha_l$, såsom man gör för isotropa kroppar. All den stund α_l ej erhållits, utan att den undersökta kautschuksorten haft en viss spänning, och en spänning gör kautschuk anisotropisk i optiskt hänseende, så kan man misstänka, att kautschuk genom sträckning blir anisotropisk äfven i termiskt hänseende. Man är således hänvisad till

direkta metoder vid bestämningar af α_c. Användningen af pyknometer för detta ändamål är synnerligen lämplig och beqväm. I den af mig förut begagnade och beskrifna (sid. 17) pyknometern nedlades kautschukstafvar af gifven volym, hvarefter apparaten fylldes med destilleradt, nyss förut uppkokt vatten, så att detsamma vid temp. τ gick till något passande delstreck på skalan *EF*. Derefter höjdes eller sänktes temp. till τ_1, hvarvid vätskeindexen i *EF* förflyttade sig ett visst antal skaldelar beroende på kautschukstafvarnes, vattnets och glasets utvidgning. Som man känner kautschukstafvarnes, pyknometerns och kapillärrörets volym, är också vattnets volym dermed gifven. Den noggrannhet, hvarmed i Brochs tabeller vattnets täthet vid olika temperaturer är angifven, samt kännedomen om glasets utvidgningskoefficient gör det möjligt att anbringa nödiga korrektioner på den aflästa utvidgningen, hvarefter man slutligen får medelutvidgningskoefficienten α_c mellan τ_1^0 och τ^0. Som kautschuk är en dålig värmeledare, måste pyknometern omkring 20 minuter hållas vid konstant temperatur, innan indexen i *EF* blef stillastående. För att utom vid 0^0 erhålla konstant temp. under så lång tid användes följande apparat, som skematiskt är antydd i plansch I fig. 3. *A* är ett kärl med dubbla väggar. I detsamma, som är fyldt med vatten, står pyknometern, en omrörare samt en termometer, som anger temp. på $0^0.02$ nära. Mellan de dubbla väggarne i *A* cirkulerar vatten, som kommer från slangen *B* och rinner bort genom *C*. *B* får sitt vatten från två kärl *D* och *E*, af hvilka det förra innehåller kallt vatten det senare kokande vatten. Från dessa kärl ledes vattnet genom tvänne rör, försedda med kranarne *F* och *G*, blandas och får en blandningstemperatur, som anges af termometern *H*. Den ena af kranarne är försedd med en konisk ventil, som manipuleras af en skruf, så att man mycket noggrannt kan reglera vattentilloppet och på så sätt få en gifven blandningstemperatur. Som vattnets friktion i kranarne är stor i jämförelse med friktionen i de tämligen vida slangarne, som leda bort vattnet, kommunicera ej *D* och *E* med hvarandra genom den ofvan-

nämda rörledningen. För att hålla vätskenivåerna i *D* och *E* på samma höjd äro kärlen förbundna medelst ett rör *R*. Denna höjd bestämmes genom ett korkflöte *J* i förbindelse med en klämma *K*, som omsluter en gummislang *L*, hvarigenom således vattentillflödet genom *L* från en större dame-jeaune regleras. Det var nödvändigt att använda regnvatten, ty vattenledningsvattnet innehöll kalk, som afsatte sig i kranarne. Medelst nu beskrifna anordning kunde temperaturen hållas konstant på några tiondels grader när.

För ren kautschuk har α_c bestämts mellan 0^0 och 60^0 vid såväl stigande som sjunkande temperatur. Tab. XII visar de erhållna värdena.

Tabellerna XIII och XIV ange de värden på α_c, som erhållits för sådana kautschukstafvar, som absorberat paraffinolja och paraffin. En tid af öfver 4 månader hade förflutit mellan absorptionen och dilatationsbestämningarna, hvarföre man torde kunna anse kautschukstafvarne vid försöken hafva varit fullt homogena. I tabellerna betyder n det antal skaldelar, vätskeindexen i *EF* på pyknometern förflyttat sig på grund af temperaturdifferensen Δt, sedan korrektioner gjorts för vattnets och glasets utvidgning.

Man finner af tabellerna,

1) att den kub. dilatationskoefficienten α_c för ren kautschuk är positiv och ganska stor i jämförelse med, hvad den är för andra fasta kroppar,

2) att α_c växer mycket hastigt med temperaturen,

3) att α'_c för kautschuk, som absorberat paraffinolja, är vid lägre temperatur lika med α_c, men växer hastigare med temperaturen, och

4) att α''_c för kautschuk, som absorberat paraffin, har ett maximum vid ung. 40^0, som nära motsvarar smältningstemperaturen för fast paraffin.

Ofvan är antydt, att kautschuk vid sträckning sannolikt blir anisotropisk i termiskt hänseende, d. v. s. att den lineära dilatationskoefficienten (α_l) i sträckriktningen och en riktning vinkelrät deremot ej skulle vara lika eller annorlunda uttryckt, α_c ej $= 3\ \alpha_l$. Som bekant är den lineära dilatationskoefficienten (α_l) för kautschuk mycket beroende

af belastningen, och det är derför af stort intresse att få kännedom om, huru förhållandet är med α_c i detta hänseende[1]). Innan några undersökningar, gjorda i detta syfte meddelas, må först anföras några bestämningar af den volymsförändring, en kautschukstaf undergår vid sträckning. Dessa bestämningar utfördes på följande sätt. En kautschukstaf A (Plansch I fig. 4) af känd volym var i sin ena ända fästad i en klyka B på messingsstången C samt i sin andra ända i klykan D, hvarigenom medelst en anordning, som teckningen antyder, A kunde meddelas en viss spänning. Genom specifika vigtsbestämningar undersöktes nu (vid 16^0) volymsförändringarne vid sträckning.

För en staf af ren kautschuk erhölls som medium af 3 bestämningar, att volymen växte med $\left(\frac{\Delta v}{v}\right)$ 0.0045 per volymsenhet, då förlängningen $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$ genom sträckning uppgick till 0.229 per längdenhet.

För en kautschukstaf, som absorberat 100.1 % paraffinolja, var mediet af 2 bestämningar $\frac{\Delta v}{v} = 0.0024$, då $\frac{\Delta L}{L} = 0.331$.

För en kautschukstaf, som absorberat 146.9 % paraffinolja var $\frac{\Delta v}{v} = 0.0021$, då $\frac{\Delta L}{L} = 0.333$.

Med användning af den lilla nyss beskrifna apparaten samt den anordning, som begagnats för pyknometern med den skillnad, att kärlet A nu var fyldt med destilleradt, uppkokt vatten, undersöktes sedan genom täthetsbestämningar på hydrostatisk väg dilatationskoefficienten α_c för såväl osträckt som sträckt kautschuk, men olikheten i α_c för de båda fallen var ej större, än att den föll inom ob-

1) Lebedeff (Beibl. 6, p. 201, 188[illegible]) [illegible] vid stigande temperatur funnit en minskning i specifika vigten för såväl sträckt som osträckt kautschuk, men, anmärker Winkelmann, (Winkelmann A., Handb. d. Physik II:2 p. 66, 1896) strax efter referatet af Lebedeffs undersökningar, »es ist unbekannt, ob und in welcher Weise sich das Verhältniss der Längendilatation zur Quercontraction beim Kautschuk mit der Temperatur ändert».

servationsfelens område. För att öka metodens känslighet måste större längder af kautschuksnöret användas, och detta möjliggjordes genom att upplinda det sträckta kautschuksnöret på en ihålig cylinder af tunn messingsplåt. Svårigheten att befria kautschuken och messingscylindern från luftblåsor öfvervanns genom att upprepade gånger neddoppa cylindern med kautschuksnöret i varmt, destilleradt vatten. Då förlängningen per längdenhet $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$ var $= 0.67$, motsvarande en belastning af kautschuksnöret uppgående till 116 gr på en genomskärningsarea $= 4.2$ mm^2, erhölls som medium af 6 bestämningar mellan 14^0 och 50^0

$$\alpha_{cs} = 0.000761$$

Den använda vågens känslighet var = 0.0001 gr. Ett fel på 0.001 gr i vägningen skulle vid de enskilda observationerna medföra ett fel i α_{cs} uppgående till 2 % af dess värde. Medelutvidgningskoefficienten α_c mellan 0^0 och 60^0 för osträckt kautschuk har förut befunnits vara $\alpha_c = 0.000763$ d. v. s.

$$\alpha_{cs} = \alpha_c.$$

Såsom längre fram skall visas, är α_l negativ redan för en belastning (P) af 40 gr per 4.2 mm^2. Vid $P = 116$ gr måste således α_l med säkerhet vara negativ och numeriskt ganska stor. Man ser således, att kautschuk vid sträckning blir anisotropisk i termiskt hänseende, och att anisotropien följer en ganska enkel lag. För att vinna ytterligare bekräftelse härpå äro i tab. XV angifna de värden, som erhållits för en grå kautschuksort, hvars täthet var = 1.346 (För en spänning $P = 58.3$ gr per mm^2 var förlängningen per längdenhet = 0.7205 och volymstillväxten per volymsenhet = 0.0167). Ett fel på 0.001 gr begånget vid täthetsbestämningarne skulle förorsaka en förändring i α_c uppgående till 0.5 % af dess storlek.

Af tabellen liksom af de förut anförda värdena synes man vara berättigad att uttala följande sats, gällande för de undersökta kautschukslagen inom angifna gränser: den kubiska dilatationskoefficienten är för sträckt och osträckt kautschuk densamma.

Tab. XII.

Bestämning af α_c för ren kautschuk. Volym$_0$ = 2.4050 cm^3.

1. (Stigande temp.).

$\Delta\tau$	n	α_c
0° —15°.22	57.0	0.000700
15°.34—27°.24	46.8	0.000735
28°.28—37°.60	38.6	0.000774
37°.90—46°.48	36.6	0.000797
46°.20—56°.1	42.5	0.000802
56.°0 —60°.7	21.5	0.000855
	Medium α_c =	0.000762

2. (Sjunkande temp.).

$\Delta\tau$	n	α_c
0° —15°.08	55.7	0.000690
15°.20—29°.04	54.8	0.000740
28°.78—38°.08	39.7	0.000798
38°.94—47°.78	37.9	0.000801
47°.78—55°.5	33.0	0.000799
56°.2 —63°.4	32.2	0.000836
	Medium α_c =	0.000764

Tab. XIII.

Bestämning af α'_c för kautschuk, som absorberat 27.1 % paraffinolja. Volymen vid 0° (V_0) = 0.6065 cm^3.

$\Delta\tau$	n	α'_c
0° —33°.68	32.3	0.000711
33°.68—44°.82	12.3	0.000818
44°.82—54°.3	12.1	0.000946
54°.3 —62°.5	12 6	0.001139
	Medium α'_c =	0.000822

Tab. XIV.

Bestämning af α''_c för kautschuk, som absorberat p % paraffin.

1.

$V_0 = 0.7531$ cm³; $p = 68.6$ %.

$\Delta\tau$	n	α''_c
0^0 —$14^0.08$	23.8	0 001009
$16^0.56$—$30^0.08$	34.9	0.001541
30^0 08—$39^0.60$	39.9	0,002502
$39^0.60$—$49^0.6$	28.2	0,001683
$49^0.6$ —$56^0.5$	13.4	0.001159
	Medium α''_c = 0 001549	

2.

$V_0 = 0.7526$ cm³; $p = 86.3$ %.

$\Delta\tau$	n	α''_c
0^0 —$14^0.74$	28,6	0.001159
$14^0.56$—$28^0.40$	49.6	0,002141
$28^0.60$—$37^0.46$	43.1	0.002906
$37^0.46$—$43^0.50$	45.4	0 004490
$43^0.50$—$52^0.0$	12.8	0 000900
$52^0.0$ —$58^0.0$	12.8	0.001274
	Medium α''_c = 0.001981	

Tab. XV.

Kubiska utvidgningskoefficienten α_c för osträckt och sträckt grå kautschuk.

$\Delta\tau$	P	α_c
$15^0.30$—$47^0.64$	0	0.000573
$17^0.66$—$44^0.08$	58.3 gr	0.000574
$16^0.73$—$46^0.70$	0	0.000561
$17^0.66$—$44^0.00$	0	0,000550
$18^0.03$—43^0 76	58.3 gr	0 000554
$18^0.48$—$42^0.92$	58.3 gr	0.000551

Medium för $P = 0$ är ∴ $\alpha_c = 0.000562$.
» » $P = 58.3$ » » $\alpha_c = 0.000560$.

Elasticitet och lineär dilatation.

I vetenskapligt hänseende har kautschuk ett ganska stort intresse af det skäl, att dess fysiska egenskaper äro så olika, ja, nästan motsatta andra kroppars. Flere framstående vetenskapsmän ha också, såsom i historiken är antydt, undersökt kautschuk, men få samstämmiga resultat hafva erhållits beroende på de använda kautschukprofvens olikhet och derpå, att olika fenomen oftast studerats hvar för sig på skilda prof, hvarföre få numeriska samband emellan fenomenen kunnat konstateras. Vid studiet af ett sådant samband är det alltså nödvändigt att underkasta samma kautschukprof undersökningar på alla de fenomen, som stå i beroende af hvarandra. Joule har experimentelt visat sambandet mellan termodynamiska fenomen och dilatation [1]), men, såsom förut är nämdt, har ej nöjaktigt påvisats sambandet mellan elasticitet och dilatation hos kautschuk. Mina undersökningar af elasticitet och dilatation torde derför erbjuda ett visst intresse. Dessa undersökningar gjordes efter följande anordningar.

En kautschukstaf fästades i hvardera ändan *A* och *B* (Plansch I, fig. 5) emellan trenne metallfjädrar, som genom en skrufmutter med koniskt hål kunde pressas ihop, så att de fast omslöto stafven. Ett visst slags ritpennskaft voro synnerligen lämpliga härtill. Dessa fastlöddes i hvar sin messingsstaf *C* och *D*, af hvilka den förra *C* fortsattes af ett messingsbleck *E*, som på sin ena sida var försedt med en mängd små koniska fördjupningar och på den andra sidan var blankpoleradt. Messingsstafven *D* var instucken och fastsatt i en stark klämskruf *F*, som genom en lämplig anordning kunde fastskrufvas i ett järnstativ. I klämskrufven *F* satt en annan messingsstaf *G*, symmetrisk med *DABCE* blott med den skilnad, att i stället för kautschukstafven *AB* här fanns en messingsstaf *HI* och att messingsskifvan *K* var försedd med ett urtag, i hvilket en gaffel

1) Med dilatation förstås alltid värmedilatation.

L kunde skjutas upp och ned samt medelst skrufven *M* fästas på passande höjd. I gaffeln *L* satt, ledande mot de koniska spetsarne på skrufvarne *N* och *P*, en vackla *R*, som bestod af 2 i ändarne spetsiga metallfjädrar samt en spegel *S*. Metallfjädrarnes spetsar omslöto messingsblecket *E*, och en spets inpassades i någon af de koniska fördjupningarne på ena sidan af *E*. På ett afstånd af vid pass 1.4 meter framför spegeln stod en kikare med skala, hvarigenom vacklans rörelse med lätthet kunde bestämmas, då man med tillbörlig noggrannhet uppmätt ofvannämda afstånd samt vacklans dimensioner. Kautschukstafven sträcktes genom vigter, lagda på en liten vågskål, som var upphängd i messingsbleket *E*. Omkring stafvarne *DABC* och *GHIJ* sutto tvänne koncentriska glasrör *U* och *V*, fastsatta i ett järnstativ, och mellan rören cirkulerade vatten, som leddes in genom sidoröret *X* och bortleddes genom *Y*. Vattnets temperatur kunde regleras genom den ofvan (sid. 28) beskrifna apparaten, som förenades med denna derigenom, att kautschukslangen *B* träddes på sidoröret *X*. Temperaturen i det inre glasröret *U* angafs af en termometer, hvars qvicksilfverkula stod i jämnhöjd med kautschukstafvens midtpunkt samt emellan *AB* och *HI*. Mellanrummet mellan termometern, messingsstafvarne *D* och *G* samt glasröret *U* var upptill täckt af bomull. På nedre ändan af glasröret *U* var fästad en liten pappskifva med hål för messingsstafvarne *C* och *J*. Noga tillsågs, att ej någon friktion förefanns vid stafven *C*.

Experimentet utfördes på följande sätt. Apparaterna med undantag af kikarne, som användes för spegelafläsningen och termometrarne, uppställdes på ett stenbord, fastmuradt i väggen till laborationsrummet för att minska oundvikliga skakningar. Kautschukstafven tilldelades sedan en viss konstant belastning *P* och efter minst 15 timmars förlopp påbörjades elasticitetsbestämningarne. Först observerades då vid temperaturen τ under några minuter skalans jämvigtsläge i kikaren, derefter på en jämn minut belastades vigtskålen med en tilläggsvigt af 1 gr. 1, 2 och 3 minuter efter belastningens anbringande observerades i

kikaren kautschukstafvens förlängning. Efter tredje afläsningen borttogs 1-gramvigten, och på 1sta, 2dra och 3dje minuten derefter aflästes jämvigtsläget. Omedelbart efter tredje afläsningen belastades vigtskålen med 3 gr, och samma observationer som förut upprepades. På samma sätt med 5 gr:s tilläggsbelastning. Förlängningarne λ, som motsvarade en viss tilläggsvigt, räknades från det aritmetiska mediet mellan den afläsning, som omedelbart föregick belastningen, och den tredje afläsningen efter belastningens borttagande samt räknades till afläsningen 3 minuter efter belastningens anbringande. Den förlängning (ε), som uppstod under andra och tredje minuten efter kautschukstafvens belastning, kan tjäna som ett slags mått på den elastiska efterverkan [1]. När efter ofvanstående observationer skalan ej ändrade sitt jämvigtsläge under ett par minuter, ändrades temp. till τ' i glasrören U och V, och kautschukstafvens temperaturdilatation bestämdes. De aflästa skaldelarne (Δ) motsvarade kautschukstafvens utvidgning, minskad med messingstafvens (HI). Vid temp. τ' gjordes sedan elasticitetsbestämningar, derpå dilatationsbestämningar o. s. v. När observationsserier gjordes vid olika konstanta belastningar P, var det alltid samma del af kautschukstafven, som användes. Så var också förhållandet vid stafvar, som absorberat paraffinolja och paraffin. Flere observationsserier utfördes, och de resultat, som erhöllos för 4 kautschukstafvar, återfinnas i tabellerna XVI, XVII, XVIII och XIX. I dessa finnas 2 kolumner för förlängningarne λ (i skaldelar), en kolumn för de observerade värdena och en för de korrigerade. Dessa korrigerade λ-värden äro beräknade af det skäl, att, såsom synes af tabellerna, förlängningarne λ ej äro proportionella mot belastningarne, utan växa mycket fortare än öfvervigten (p). En orsak till detta förhållande är att söka deri, att vid så elastiska kroppar som kautschuk såväl längden är märkbart större som också genomskärningsarean mindre vid

1) Som de termodynamiska fenomenens inflytande på ε är mycket litet i närheten af inversionstemp. (Se nedan), torde detsamma här kunna förbises.

större belastningar än vid mindre sådana. Man finner lätt, att korrektionerna bli inverse proportionela mot qvadraterna på längderna. ty antag L och Q vara respektive lika med kautschukstafvens längd och genomskärningsarea vid den konstanta belastningen P samt $L + R . \lambda$ och Q' motsvarande qvantiteter vid belastningen P + tilläggsvigten p. R = reduktionstalet för skaldelarne. Man får då

$$R . \lambda_{obs.} = \frac{1}{E} \cdot \frac{(L + \lambda . R)p}{Q'} \quad \text{och} \quad R . \lambda_{korr.} = \frac{1}{E} \cdot \frac{L . p}{Q},$$

der E är = elasticitetsmodylen. Men

$$(L + \lambda . R)Q' = L . Q(1 + \Delta'),$$

der Δ' = volymstillväxten per volymsenhet vid belastningen p. Af dessa 3 eqvationer erhålles

$$\lambda_{korr.} = \lambda_{obs.} \cdot \frac{L^2}{(L + \lambda . R)^2} \cdot (1 + \Delta') .$$

Ehuru förlängningarne λ aldrig uppgingo till 2.2 mm, förorsakade dock dessa korrektioner, såsom siffrorna i tabellerna visa, att λ närmade sig proportionalitet med p inom intervallet $p = 1$ gr och $p = 5$ gr. Vid beräkning af »medium λ för (p =) 1 gr» har observationernas godhet ansetts proportionel mot p, d. v. s. λ-värdena för $p = 1$ gr, 3 gr och 5 gr ha summerats, och summan dividerats med 9. Mediet λ är således proportionelt mot elasticitetskoefficienten e eller inversa värdet på elasticitetsmodylen E för belastningen $P + \frac{1^2 + 3^2 + 5^2}{1 + 3 + 5}$ eller $P + 4$ gr ung. En grafisk framställning af beroendet mellan λ och temp. är gjord i plansch III, där temp. är abscissa och λ ordinata. ε i tabellerna är beräknadt på samma sätt som mediet λ och uttryckt i samma mått nämligen skaldelar. Δ, mätt i skaldelar och ökadt med messingsstafvens HI utvidgning, betyder kautschukstafvens lineära dilatation mellan angifna temperaturer $\tau' - \tau$ för den konstanta belastningen P. α är = den deraf beräknade dilatationskoefficienten, α' är = den lineära dilatationskoefficienten, som skulle erhållits, om ela-

sticitetsmodylen ej ändrat sig på temperaturintervallet $\tau' - \tau$, eller m. a. o. α' motsvarar den lineära dilatationskoefficienten för $P = 0$ och har beräknats på följande sätt. Enligt Dahlander [1]) är

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta P} = \frac{1}{Q} \cdot \frac{\Delta e}{\Delta t} \quad \therefore \quad \alpha - \alpha' = \frac{P}{Q} \cdot \frac{e' - e}{\tau' - \tau} .$$

Men

$$R . \lambda = e . \frac{L.p}{Q} \quad \therefore \quad \frac{e}{Q} = \frac{R . \lambda}{L.p} \quad \text{och} \quad \alpha = k + \frac{\Delta . R}{L(\tau' - \tau)} ,$$

således

$$\alpha' = k + \frac{\Delta . R}{L(\tau' - \tau)} - \frac{P . R . (\lambda' - \lambda)}{L . p(\tau' - \tau)} = k +$$

$$+ \frac{R[\Delta + P(\lambda - \lambda')]}{L(\tau' - \tau)} , \quad \text{ty } p = 1 \text{ gr.}$$

Som Δ erhållits för belastningen P samt λ och λ' representera elasticiteten vid en belastning $= P + 4$ gr, måste antingen Δ eller $\lambda - \lambda'$ korrigeras, så att de gälla för samma belastning. Dessa korrektioner ha kringgåtts genom att ersätta P med $P + 3$. Således blir formeln, hvarur α' härledts [2])

$$\alpha' = k + \frac{R[\Delta + (P + 3)(\lambda - \lambda')]}{L(\tau' - \tau)} , \qquad (k = 0.000019) .$$

Granskas tabellerna och planscherna, finner man

A) för ren kautschuk,

1) att elasticitetskoefficienten e aftar, d. v. s. elasticitetsmodylen E växer med temperaturen,

2) att den elastiska efterverkan först aftar med stigande temperatur till omkring 50^0 och sedan tillväxer. (Den senare tillväxten torde emellertid endast antyda, att kautschuken närmar sig sin smältpunkt),

---

1) Dahlander G. R., Öfvers. af Vet. Ak. Förh. 28 p. 703. 1871 och 43 p. 214. 1886.

2) I tabellerna äro endast de α'-värden anförda, som beräknats med användning af »medium λ för 1 gr korr.» De α'-värden, som erhållas vid räkning med λ obs., afvika undantagsvis från dessa och äro då något större.

3) att α är positiv för mindre värden på P, men aftar och blir negativ, då P växer,

4) att α växer mycket hastigt med temperaturen, så att för vissa värden på P α är negativ vid lägre temperatur, men positiv vid högre, d. v. s. det gifves en inversionstemperatur, då α är = 0, och denna temperatur måste växa med P, samt

5) att medelvärdena på α' äro sinsemellan i det närmaste lika och ha ett värde $\alpha' = 0.00019$, hvilket värde emellertid är mindre än en tredjedel af den kubiska dilatationskoefficienten eller 0.00025, dock är differensen ej större, än att den låter förklara sig deraf, att den elastiska efterverkan vid lägre temperatur är större än vid högre, ty om hela den elastiska efterverkan kunnat observeras och fått ingå i λ-värdena, skulle differensen $\lambda - \lambda'$ blifvit större och således α' större;

B) för kautschuk, som absorberat paraffinolja, att

1)—4) gälla äfven här, men att den elastiska efterverkan är mindre och mera konstant, hvaraf följer,

5) att medelvärdena på α' mera närma sig en tredjedel af den kubiska dilatationskoefficienten än förhållandet är vid ren kautschuk;

C) för kautschuk, som absorberat paraffin,

1) att elasticitetskoefficienten vid 0^0 till 5^0 växer långsamt, sedan mycket hastigt till vid pass 36^0, derpå långsammare och slutligen ofvan 42^0 aftar. (Det mest anmärkningsvärda här är kontinuiteten i elasticitetskurvan. Sannolikt har den af kautschukstafven absorberade paraffinen ett mjukningsstadium mellan 5^0 och dess smältpunkt, som betingar kontinuiteten. Beträffande kurvans hastiga stigning vid ung. 5^0 så kan detta förhållande möjligen äfven stå i något samband med det af Kayser[1]) observerade fenomenet, att diffusion af kolsyra genom kautschuk först börjar vid 2^0 ung.),

1) Kayser, Wied. Ann. 43 p. 544. 1891.

2) att mellan 0^0 och 42^0 den elastiska efterverkan är mycket stor och störst vid elasticitetskurvans hastigaste stigning. (Mellan samma temperaturer undergår äfven kautschukstafven stora permanenta förlängningar efter hvarje öfverbelastning), och

3) att den lineära dilatationen har ett maximum vid paraffinets smältpunkt.

Genom ofvanstående undersökningar öfver elasticiteten och dilatationen hos ren kautschuk och kautschuk, som absorberat paraffinolja, är således påvisadt ett alldeles bestämdt samband mellan elasticitets- och dilatationskoefficienten. Differenserna mellan α'-värdena för en och samma staf samt stafvar af samma slag och den lineära dilatationskoefficienten, beräknad ur den kubiska, låter lätt förklara sig derigenom, att den elastiska efterverkan ej är konstant. och att små fel i bestämningarne af λ inverka ganska mycket på resultaten. Dessa fel i λ-värdena bero till största delen derpå, att vid skakningar i laboratoriet kautschukstafven, som undersöktes, råkade i små oskillationer, hvarigenom den elastiska efterverkan påskyndades eller fördröjdes, så att i olika λ-bestämningar ej kom att ingå samma del af den elastiska efterverkan.

Sambandet mellan elasticitet och dilatation har ådagalagts utan några antaganden eller korrektioner för kautschukstafvarnes dilatation. Ännu är således, strängt taget, oafgjordt, om elasticitetsmodylen växer eller aftar vid stigande temperatur; men denna fråga besvaras nu mycket lätt med tillhjälp af senast anförda tabeller och det ofvan funna förhållandet, att den kubiska dilatationskoefficienten (A) för sträckt och osträckt ren kautschuk är densamma mellan 0^0 och 60^0. Enligt föregående är

$$R \,.\, \lambda = \frac{1}{E} \,.\, \frac{L \,.\, p}{Q} \,,$$

då inga korrektioner gjorts för temperaturdilatationen, men göras sådana, fås

$$R \,.\, \lambda = \frac{1}{E'} \,.\, \frac{L(1 + \alpha t)p}{Q[1 + (A - \alpha)t]} \quad . \;.$$

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{E} \,.\, \{1 + (A - 2\alpha)t\} \;.$$

I tabellerna XVI och XVII är uppgifvet såväl $\frac{1}{E}$ som α vid olika temperaturer för stafvar af ren kautschuk och sådana, som absorberat paraffinolja. Genom insättning i ofvanstående formel och under förutsättning af, att den kubiska dilatationskoefficienten för kautschuk, som absorberat paraffinolja, är oberoende af spänningen, finner man, att elasticitetsmodylen E' i

tab.	XVI:	1 (A=0.00076)	växer	med	11.4 %	mellan	3°.0	och 58°.2
»	»	2 » »	»	»	10.7 %	»	3°.3	» 59°.2
»	»	3 » »	»	»	8.9 %	»	5°.1	» 61°.1
»	»	4 (A=0.000936)	»	»	11.2 %	»	2°.5	» 49°.8
»	»	5 » »	»	»	10.8 %	»	3°.5	» 50°.3
»	XVII:	1 (A=0.00076)	»	»	9.9 %	»	2°.6	» 57°.4
»	»	2 » »	»	»	12.3 %	»	1°.7	» 76°.4
»	»	3 (A=0.000902)	»	»	12.2 %	»	2°.7	» 63°.3
»	»	4 » »	»	»	11.9 %	»	1°.6	» 64°.3

Af dessa siffror ser man:

1) att elasticitetsmodylen växer med temperaturen, och att denna tillväxt såväl för ren kautschuk som ock för kautschuk, som absorberat paraffinolja, uppgår till 11 % i medeltal mellan 0° och 60° och

2) att elasticitetsmodylens tillväxt i regeln minskas något, då den konstanta belastningen P ökas.

Tab. XVI: a).

Kautschukstafvens natur m. m.	Temp.	λ för en belastning af 1 gr obs.	1 gr korr.	3 gr obs.	3 gr korr.	5 gr obs.	5 gr korr.	Medium för 1 gr obs.	Medium för 1 gr korr.	ε
1. Ren kautschuk; $L_p = 10.67$ cm; $Q_p = 0.04065$ cm²; log $R = 0.83186-4$; $P = 20.3$ gr.	3°.0	40.1	39.9	121.2	119.4	204.8	199.6	40.7	39.9	0.7
	17°.8	38.0	37.8	115.8	114.1	195.3	190.6	38.8	38.1	0.5
	34°.4	36.3	36.1	110.0	108.5	186.5	182.2	37.0	36.4	0.5
	45°.0	35.4	35.3	107.6	106.1	181.6	177.5	36.1	35.5	0.4
	58°.2	34.2	34.1	105.3	103.9	177.6	173.7	35.2	34.6	0.4
	70°.3	33.5	33.4	104.0	102.6	175.7	171.9	34.8	34.2	0.5
	18°.7	37.9	37.7	115.8	114.1	196.3	191.6	38.9	38.2	0.5
2. Ren kautschuk; $L_p = 11.13$ cm; $Q_p = 0.03900$ cm²; log $R = 0.83186-4$; $P = 30.3$ gr.	17°.7	38.9	38.7	118.9	117.2	203.2	198.3	40.1	39.4	0.6
	3°.3	41.0	40.8	125.9	124.0	213.8	208.4	42.3	41.5	0.9
	18°.0	38.4	38.2	118.7	117.0	202.5	197.6	40.0	39.2	0.6
	34°.3	36.9	36.7	114.7	113.1	194.3	189.8	38.4	37.7	0.5
	45°.0	36.3	36.1	112.0	110.5	189.1	184.9	37.5	36.8	0.4
	59°.2	36.3	36.1	108.8	107.4	183.7	179.7	36.5	35.9	0.6
	72°.3	35.5	35.3	107.6	106.2	181.4	177.5	36.1	35.4	0.8
	19°.2	39.0	38.8	119.4	117.7	203.0	198.1	40.2	39.4	0.6
3. Ren kautschuk; $L_p = 11.42$ cm; $Q_p = 0.03803$ cm²; log $R = 0.83186-4$; $P = 40.3$ gr.	5°.1	43.0	42.8	132.4	130.4	226.5	220.6	44.7	43.8	0.8
	18°.6	41.5	41.3	126.6	124.7	213.5	208.2	42.4	41.6	0.7
	35°.1	39.3	39.1	121.2	119.5	206.2	201.3	40.7	40.0	0.6
	45°.3	39.5	39.3	120.4	118.7	201.8	197.1	40.2	39.5	0.5
	61°.1	38.5	38.3	116.6	115.0	194.9	190.5	38.9	38.2	0.6
	18°.2	40.4	40.2	127.4	125.5	213.8	208.5	42.4	41.6	0.7
4. Kautschuk, som absorberat 133.5 % paraffinolja; $L_p = 14.36$ cm; $Q_p = 0.06986$ cm², log $R = 0.83090-4$; $P = 20.3$ gr.	18°.2	53.1	52.8	161.3	158.9	272.1	265.3	54.1	53.0	0.3
	2°.5	55.9	55.6	168.1	165.5	284.8	277.3	56.5	55.4	0.3
	18°.1	52.8	52.5	160.1	157.7	272.1	265.3	53.9	52.8	0.3
	35°.0	50.8	50.6	152.3	150.2	256.5	250.5	51.1	50.1	0.3
	18°.4	52.9	52.6	160.6	158.2	272.0	265.2	53.9	52.9	0.3
	49°.8	47.7	47.5	145.9	143.9	246.7	241.1	48.9	48.1	0.2
5. Samma som i 4; $L_p = 14.75$ cm; $Q_p = 0.06803$ cm²; log $R = 0.83090-4$; $P = 30.3$ gr.	3°.5	60.6	60.3	185.1	182.0	315.6	306.7	62.4	61.0	0.4
	18°.7	58.3	58.0	176.2	173.4	298.8	290.8	59.3	58.0	0.3
	35°.2	55.0	54.7	167.2	164.7	283.6	276.4	56.2	55.1	0.3
	18°.7	58.1	57.8	177.0	174.2	299.0	291.0	59.3	58.1	0.3
	50°.3	52.6	52.3	160.1	157.8	270.3	263.8	53.7	52.7	0.2

Tab. XVI: b).

№	Temp.	$\frac{1}{E}\,10^6$	Medium λ för 1 gr korr.	ε	Δ	$\alpha\,.\,10^6$	$\alpha'\,.\,10^6$	Temp. diff. $= \tau - \tau'$
1.	3°.0	103.3	39.9	0.7	− 0.1	+ 18.6	203	3°.1—17°.6
	17°.8	98.6	38.1	0.5	+ 8.5	+ 52.8	210	18°.4—34°.4
	34°.4	94.2	36.4	0.5	+ 8.3	+ 68.4	193	34°.4—45°.1
	45°.0	91.9	35.5	0.4	+ 18.5	+ 108.2	209	45°.0—58°.2
	58°.2	89.6	34.6	0.4	+ 16.4	+ 103.8	152	58°.2—70°.5
	70°.3	88.5	34.2	0.5	Medium α' = 0 000195.			
2.	3°.3	98.8	41.5	0.9	− 17.8	− 55.4	237	3°.3—17°.9
	18°.3	93.8	39.4	0.6	− 10.8	− 23.8	201	18°.7—34°.1
	34°.3	89.7	37.7	0.5	− 3.8	− 4.0	177	34°.8—44°.9
	45°.0	87.6	36.8	0.4	+ 4.1	+ 36.9	167	45°.2—59°.2
	59°.2	85.4	35.9	0.6	+ 13.3	+ 81.9	161	59°.5—72°.4
	72°.3	84.3	35.4	0.8	Medium α' = 0.000190.			
3.	5°.1	99.0	43.8	0.8	− 40.0	− 158.5	264	5°.2—18°.6
	18°.6	94.0	41.6	0.7	− 32.9	− 103.3	154	18°.7—34°.7
	35°.1	90.4	40.0	0.6	− 15.8	− 74.0	(54)	35°.2—45°.3
	45°.3	89.3	39.5	0.5	− 18.1	− 49.6	164	45°.1—60°.8
	61°.1	86.3	38.2	0.6	Medium α' = 0.000190.			
4.	2°.5	182.6	55.4	0.3	+ 18.9	+ 76.5	261	2°.7—18°.2
	18°.2	174.0	52.8	0.3	+ 23.4	+ 84.7	261	18°.2—35°.0
	35°.0	165.1	50.1	0.3	+ 51.8	+ 97.8	265	18°.4—49°.4
	49°.8	158.5	48.1	0.2	Medium α' = 0.000263.			
5.	3°.5	190.6	61.0	0.4	− 13.6	− 22.1	270	3°.4—18°.6
	18°.7	181.5	58.1	0.3	− 10.2	− 9.9	272	18°.8—35°.1
	35°.2	172.2	55.1	0.3	− 1.7	+ 13.7	262	35°.1—49°.9
	50°.3	164.7	52.7	0.2	Medium α' = 0.000268.			

Tab. XVII: a).

Kautschukstafvens natur m. m.	Temp.	λ för en belastning af 1 gr obs.	1 gr korr.	3 gr obs.	3 gr korr.	5 gr obs.	5 gr korr.	Medium för 1 gr obs.	Medium för 1 gr korr.	ε
1. Ren kautschuk; $L_p = 10.80$ cm; $Q_p = 0.04035$ cm^2; log $R = 0.83124-4$; $P = 20.3$ gr.	2°.6	39.9	39.4	122.3	120.5	207.1	201.9	41.0	40.2	1.0
	20°.8	39.4	39.2	116.8	115.1	195.5	190.8	39.1	38.3	0.9
	41°.7	35.8	35.6	110.2	108.7	183.1	179.0	36.6	35.9	0.9
	57°.4	34.8	34.6	107.2	105.8	181.1	177.1	35.9	35.3	0.5
	70°.4	34.8	34.6	106.7	105.3	181.1	177.1	35.8	35.2	0.9
	81°.6	35.0	34.8	105.0	103.6	180.2	176.2	35.6	35.0	2.1
2. Samma som i 1; $L_p = 11.61$ cm; $Q_p = 0.03759$ cm^2: log $R = 0.83124-4$; $P = 40.3$ gr.	1°.7	48.0	47.7	148.2	145.7	250.7	243.6	49.7	48.6	1.1
	33°.2	43.9	43.7	132.1	130.1	223.5	217.8	44.4	43.5	0.6
	76°.4	41.0	40.8	122.9	121.2	206.5	201.7	41.2	40.4	1.2
3. Kautschuk, som absorberat 100.1 % paraffinolja; $L_p = 12.80$ cm; $Q_p = 0.05265$ cm^2; log $R = 0.83249-4$; $P = 20.3$ gr.	16°.7	51.6	51.3	155.6	153.1	262.3	255.1	52.2	51.1	0.5
	2°.7	54.1	53.8	163.0	160.2	276.7	268.8	54.9	53.6	0.5
	41°.4	47.6	47.4	144.3	142.1	245.3	239.1	48.6	47.6	0.3
	63°.3	45.4	45.2	138.8	136.8	234.7	228.9	46.5	45.7	0.2
	17°.4	50.8	50.5	155.7	153.2	262.2	255.0	52.1	51.0	0.5
4. Samma som i 3; $L_p = 13.25$ cm; $Q_p = 0.05087$ cm^2; log $R = 0.83249-4$; $P = 30.3$ gr.	1°.6	57.0	56.7	174.0	170.9	296.3	287.6	58.6	57.2	0.5
	17°.3	54.2	53.9	165.7	162.9	281.4	273.5	55.7	54.5	0.5
	45°.7	50.1	49.8	152.0	149.7	264.5	257.5	51.8	50.7	0.4
	64°.3	48.6	48.4	146.9	144.7	246.8	240.7	49.1	48.2	0.4
	17°.0	54.2	53.9	165.1	162.3	279.8	272.0	55.5	54.3	0.5

Tab. XVII: b).

№	Temp.	$\frac{1}{E} \cdot 10^6$	Medium λ för 1 gr korr.	ε	Δ	$\alpha \cdot 10^6$	$\alpha' \cdot 10^6$	Temp. diff. $= \tau - \tau'$
1.	2°.6	101.8	40.2	1.0	− 0.3	+ 17.9	173	2°.4—20°.3
	20°.8	97.0	38.3	0.9	+ 13.3	+ 53.7	223	17°.2—41°.3
	41°.7	90.9	35.9	0.9	+ 14.8	+ 77.8	133	41°.5—57°.3
	57°.4	89.4	35.3	0.5	Medium α' = 0.000183.			
2.	1°.7	106.7	48.6	1.1	− 90.5	−149.9	262	1°.7—33°.0
	33°.2	95.4	43.5	0.6	− 51.5	− 51.3	132	33°.3—76°.1
	76°.4	88.6	40.4	1.2	Medium α' = 0.000187.			
3.	2°.7	149.9	53.6	0.5	− 3.1	+ 7.2	238	2°.8—16°.8
	17°.1	142.6	51.0	0.5	+ 22.3	+ 68.4	244	17°.1—41°.1
	41°.4	133.1	47.6	0.3	+ 25.7	+ 80.5	186	41°.1—63°.3
	63°.3	127.8	45.7	0.2	Medium α' = 0.000221.			
4.	1°.6	149.3	57.2	0.5	− 28.1	− 72.9	221	1°.7—17°.4
	17°.3	142.2	54.5	0.5	− 27.3	− 30.2	198	17°.0—45°.5
	45°.7	132.3	50.7	0.4	− 3.9	+ 8.3	235	45°.8—64°.6
	64°.3	125.8	48.2	0.4	Medium α' = 0.000215.			

XVIII: a).

Kautschukstafvens natur m. m.	Temp.	λ för en belastning af								ε
		1 gr		3 gr		5 gr		Medium för 1 gr		
		obs.	korr.	obs.	korr.	obs.	korr.	obs.	korr.	
1. Ren kautschuk; $L_P = 10.65$ cm;	1°.8	40.0	39.8	122.1	120.3	205.9	200.7	40.9	40.1	0.8
$Q_P = 0.03840$ cm²;	18°.5	37.7	37.5	114.8	113.2	193.8	189.2	38.5	37.8	0.6
$\log R = 0.83164—4$;	35°.7	34.9	34.7	108.2	106.8	183.1	179.0	36.2	35.6	0.5
$P = 20.3$ gr;	60°.5	34.5	34.3	105.9	104.5	177.3	173.5	35.3	34.7	0.5

Kautschukstafvens natur m. m.	Temp.	λ för en belastning af 1 gr obs.	1 gr korr.	3 gr obs.	3 gr korr.	5 gr obs.	5 gr korr.	Medium för 1 gr obs.	Medium för 1 gr korr.	ε
2.										
Kautschuk, som absorberat	$2^0.6$	1.9		5.7		9.4		1.9		0.5
86.3 % paraffin;	$17^0.7$	15.4		48.4		83.8		16.4		3.0
$L_p = 12.80$ cm;	$37^0.3$	51.7		155.5		261.8		52.1		1.9
$Q_p = 0.060$ cm²;	$45^0 7$	53.8		169.9		284.6		56.5		0.8
log $R = 0.83164-4$;	$59^0.1$	55.6		167 2		280 9		56 0		0.5
$P = 20.3$ gr.	$70^0.3$	55.1		166.4		281.8		55.9		0.8
3.										
Samma som i 2;	$17^0.4$	17 3		54.2		93.4		18.3		3.2
$L_p = 13.80$ cm;	$2^0.7$	3.1		8 6		15.6		3.0		0.9
$Q_p = 0.056$ cm²;	$17^0.8$	18.4		57 7		99.9		19.6		3.7
log $R = 0.83164-4$;	$34^0.3$	52.1		159 6		275.0		54.1		2.6
$P = 30.3$ gr.	$44^0.9$	59.0		179.1		306.8		60.5		0.9
	$61^0.2$	59 3		179.5		303.5		60.3		0.8
	$72^0.2$	59.6		181.4		308 4		61.0		1.3

Tab. XVIII: b).

№	Temp.	$\frac{1}{E}10^6$	Medium λ för 1 gr korr.	ε	Δ	α. 10⁶	α¹. 10⁶	Temp. diff. τ—τ¹
1.	$1^0.8$	97.1	40.1	0.8	— 0.3	+ 17.9	220	$1^0.8—18^0.5$
	$18^0.5$	91 5	37.8	0.6	+ 8.0	+ 48.5	238	$18^0.5—35^0.6$
	$35^0.7$	86 2	35.6	0.5	+ 26.0	+ 87.0	142	$36^0.0—60^0.1$
	$60^0 5$	84.0	34.7	0.5	Medium α′ = 0.000193.			
2.			obs.					
	$2^0 6$	6.0	1.9	0.5	+ 179.6	+ 714		$2^0.7—16^0.4$
	$17^0.7$	52.2	16.4	3.0	+ 159 8	+ 566		$16^0.7—32^0.2$
	$37^0.3$	165.7	52.1	1.9	+ 94.2	+ 1333		$33^0.4—37^0.2$
	$45^0.7$	179.7	56.5	0.8	+1040.5	+ 6360		$37^0.2—45^0.8$
	$59^0 1$	178.1	56.0	0.5	+ 45.5	+ 195		$45^0.5—59^0.2$
	$70^0.3$	177.8	55.9	0.8	+ 30.2	+ 166		$59^0.3—70^0.2$
3.	$2^0 7$	8.3	3.0	0.9	+ 77.3	+ 269		$2^0.5—17^0.7$
	$17^0 6$	52.0	18.9	3 4	+ 106 6	+ 343		$18^0.0—34^0.2$
	$34^0.3$	148.8	54.1	2.6	+1350	+ 7254		$34^0.2—44^0.6$
	$44^0 9$	166.4	60.5	0.9	+ 55.6	+ 177		$44^0.4—61^0.7$
	$61^0.2$	165.8	60 3	0.8	+ 24.9	+ 143		$62^0.1—72^0.0$
	$72^0.2$	167.8	61.0	1.3				

Tab. XIX: a).

Kautschukstafvens natur m. m.	Temp.	λ för en belastning af: 1 gr obs.	1 gr korr.	3 gr obs.	3 gr korr.	5 gr obs.	5 gr korr.	Medium för 1 gr obs.	Medium för 1 gr korr.	ε
1. Ren kautschuk;										
L_p = 10.68 cm;	$2^0.5$	40.4	40.2	119.7	117.9	205.8	200.6	40.7	39.9	0.6
Q_p = 0.04317 cm^2;	$24^0.2$	37.6	37.4	113.8	112.2	194.7	190.0	38.5	37.7	0.5
log R = 0.83194—4;	$44^0.6$	35.6	35.4	108.2	106.7	180.4	176.4	36.0	35.4	0.6
P = 20.3 gr.	$64^0.6$	33.8	33.7	102.4	101.1	176.8	172.9	34.8	34.2	0.5
2.	$2^0.5$	2.3		6.5		10.8		2.2		0.8
Kautschukstaf, som absor-	$8^0.5$	6.7		10.2		28.5		5.0		0.7
berat 68.9 % paraffin;	$11^0.8$	7.0		31.0		49.4		9.7		3.0
L_p = 12.28 cm;	$22^0.2$	29.9		90.2		160.1		31.1		5.1
Q_p = 0.0675 cm^2;	$31^0.0$	51.9		156.3		269.1		53.0		1.1
log R = 0.83072—4;	$36^0.1$	56.1		160.9		275.2		54.7		2.3
P = 20.3 gr.	$42^0.9$	57.8		171.0		299.6		58.7		0.6
	$49^0.3$	57.9		172.0		296.6		58.5		0.2
	$58^0.3$	56.9		170.0		292.2		57.7		0.1
	$71^0.6$	55.2		168.0		288.9		56.9		0.3
	$80^0.8$	56.1		169.4		294.3		57.8		1.0

Tab. XIX: b).

№	Temp.	$\frac{1}{E}10^6$	Medium λ för 1 gr korr.	ε	Δ	α. 10^6	$α^1$. 10^6	Temp. diff. $τ—τ^1$
1.	$2^0.5$	106 7	39.8	0.6	+ 16.1	+ 65.3	213	2^0 3—$24^0.4$
	$24^0.2$	101.0	37.7	0.5	+ 20.0	+ 82.9	254	$24^0.4$—$44^0.3$
	$44^0.6$	94.9	35.4	0.6	+ 23.9	+ 93.1	180	$44^0.3$—$64^0.8$
	$64^0.6$	91 7	34.2	0 5	Medium $α'$ = 0.000215.			
2.			obs.					
	2^0 5	8.2	2.2	0.8	+ 29.4	+ 308		$2^0.6$— $8^0.2$
	$8^0.5$	18.6	5.0	0.7	+ 24.0	+ 377		$8^0.2$—$11^0.9$
	$11^0.8$	36.1	9 7	3.0	+ 55.7	+ 323		$11^0.7$—$21^0.8$
	$22^0.2$	115.7	31.1	5.1	+ 52.8	+ 366		$22^0.1$—$30^0.5$
	$31^0.0$	197.2	53.0	1.1	+ 73.5	+ 846		$31^0.1$—36^0 0
	$36^0.1$	203.5	54.7	2.3	—	—		— —
	$42^0.9$	218.4	58.7	0.6	+ 83 9	+ 1071		$43^0.0$—$47^0.4$
	$49^0.3$	217.6	58.5	0.2	+ 23.7	+ 157		$49^0.5$—$59^0.0$
	$58^0.3$	214.6	57.7	0.1	+ 10.1	+ 60		$58^0.1$—$71^0.6$
	$71^0.6$	211.7	56.9	0.3	+ 16.2	+ 118		$71^0.7$—$80^0.7$
	80^0 8	215.0	57 8	1.0				

Termodynamiska fenomen.

Ehuru de termodynamiska fenomenen hos kautschuk äga ett mycket stort teoretiskt intresse, fins det blott jämförelsevis få undersökningar deröfver, hvilken omständighet beror på de svårigheter, som uppstå vid deras utförande. Endast Joule, så vidt mig är bekant, har för kautschuk kunnat påvisa afkylning vid en sträckvigt som motsvarade positiv dilatation, och denna afkylning kunde han blott konstatera för en temperatur under 10^0. Enligt de resultat, som äro meddelade i föregående kapitel öfver den lineära dilatationen, synes det deremot, som om afkylning vid sträckning lättare skulle observeras vid högre temperatur än vid lägre, ty för ofvan undersökta kautschuksort var den positiva dilatationskoefficienten större och ägde bestånd vid större belastningar i förra fallet än i det senare. Detta förhållande har ofvan uttryckts så, att inversionstemperaturen d. v. s. den temperatur, vid hvilken kautschukstafvens lineära dilatationskoefficient α är $= 0$, växer med belastningen. Närmast för att vinna ytterligare bekräftelse härpå har i det följande vid gifna temperaturer bestämts den belastning P, för hvilken ingen värmeverkan äger rum. I öfverensstämmelse med Thomsons bekanta formel inträffar detta just vid inversionstemperaturen för spänningen P. Den anordning, som vid experimentets utförande befanns lämpligast, var följande.

Af fin manganintråd *(A)* (Plansch I fig. 6) och öfverspunnen koppartråd *(B)* förfärdigades ett termoelement, hvars lödställen *(C* och *D)* hade en tjocklek af 0.1 mm och en bredd af 1 mm. Det ena lödstället *(C)* satt midt i kautschukstafven *(EF)* och omkring det andra *(D)* satt en liten kort kautschukstaf *(G)*, tagen af samma stycke som *(EF)*. Stafven *(EF)* var i sina båda ändar fästad i metallklämmor, som voro fastlödda vid metallstängerna *(H)* och *(I)*. Vid *(H)* var fästadt ett fint flätadt snöre, som öfver en metalltrissa med liten friktion gick till metallstafven *(KLM)*, hvilken åter stod i förbindelse med *(I)*. Me-

delst vigter, anbragta på en vigtskål *(N)*, kunde kautschukstafven *(EF)* sträckas efter behag. Orsaken till ofvan beskrifna anordning var den, att det visade sig nödvändigt att vid sträckningarne förhindra hvarje rörelse af termoelementet och ledningstrådarne, hvarigenom induktions- och termoströmmar kunde alstras. Detta lyckades ock på nyssnämda sätt, då derjämte oskillationer åt sidorna förekommos derigenom, att stafvarne *(KL)*, *(I)* och *(H)* i sina rörelser reglerades, den förste af det fixa glasröret *(Q)* samt de senare af de små öppningarne i metallocken *(R)* och *(S)*, som täckte mynningarne af rörkombinationen *(U—V)*. Temperaturen omkring kautschukstafvarne reglerades och aflästes på samma sätt, som i föregående kapitel är antydt. Ledningstrådarne *(B)* stodo i förbindelse med en mycket känslig galvanometer af Professor K. Ångströms konstruktion, och galvanometern aflästes medelst kikare och skala. Känsligheten hos galvanometern var så stor, att med koppar-manganinelementet en skaldels utslag motsvarade $0^0.00067$.

Vid experimentets utförande förskaffade man sig först en gifven temperatur i röret *U*, och då denna hållits konstant i minst 15 minuter, tillklämdes den kautschukslang, som ledde vattnet till röret *V*. Detta senare var omlindadt med ett tjockt lager af bomull, hvarföre temperaturen några minuter höll sig konstant i det inre röret *(U)* och galvanometern stod stilla. Till den belastning *P*, som förut fanns på vigtskålen, lades nu en annan p (= 50 gr), och samtidigt observerades galvanometerns utslag a. Likaledes observerades det negativa utslaget $-a$, då vigten p borttogs. Dessa observationer upprepades 2 gånger, hvarefter den konstanta belastningen *P* ändrades till P^1, som var större än *P* i fall utslaget a betydde afkylning vid sträckning, i annat fall mindre. Derefter iakttogos utslagen a^1 och $-a^1$ för tilläggsbelastningen p. Befunnos då a och a^1 vara af motsatta tecken, afbrötos observationerna, hvarom icke fortsattes de för andra konstanta belastningar, till dess för 2 successiva *P*-värden, hvilkas differens var p, a och a^1 hade motsatta tecken. Af utslagens storlek beräknades

derefter den belastning π, för hvilken α skulle blifvit = 0. Antages kautschukstafvens lineära utvidgningskoefficient vid den konstanta belastningen P vara $\alpha > 0$, vid P^1 $(= P+p)$ vara $= \alpha^1$ och vid P^1+p lika med $\alpha'' < 0$, så kan man med tämligen god approximation antaga medeldilatationskoefficienten, under det belastningen växer från P till $P+p$ samt från P^1 till P^1+p vara respektive $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ och $\frac{\alpha'+\alpha''}{2}$. De termodynamiska verkningarne vid experimentet blifva således desamme, som då tvenne stafvar med de konstanta dilatationskoefficienterna $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ och $\frac{\alpha'+\alpha''}{2}$ belastades med vigten p, d. v. s. a och a^1 äro proportionela mot $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ och $\frac{\alpha'+\alpha''}{2}$. Men dilatationskoefficienterna $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ och $\frac{\alpha'+\alpha''}{2}$ motsvara belastningarne $P+\frac{p}{2}$ och $P^1+\frac{p}{2}$, hvarföre belastningen π måste interpoleras mellan dessa gränser. Kautschukstafvens spänning vid belastningen π är naturligtvis $-\frac{\pi}{2} = \mathfrak{P}$. Tre kautschukstafvar äro undersökta, och de erhållna värdena återfinnas i tab. XX: a).

Som galvanometerutslagen blott varierade mellan 1 och 4 skaldelar och större utslag hade varit önskliga, observerades galvanometerutslagen, då vigtskålen på en gång erhöll hela sin belastning P. Belastningarne måste nu liksom förut anbringas så långsamt, att ej någon lefvande kraft hos vigten perturberade fenomenet. Man erhöll derföre här i allmänhet 2 utslag på galvanometern, ett första utslag, som svarade mot den pos. dilatationskoefficienten under första stadiet af sträckningen, och ett andra, som motsvarade den neg. dilatationskoefficienten under sista stadiet. Det P värde bestämdes, för hvilket dessa båda utslag voro lika stora. Antages α vara en lineär funktion af belastningen, så inses lätt, att i detta fall $\mathfrak{P} = {}^1/_4\, P$ för $\alpha = 0$. De på detta sätt erhållna resultaten äro återgifna i tab. XX: b).

Granskas de i tabellen meddelade resultaten, finner man bekräftadt, att inversionstemperaturen stiger, då belastningen växer; dock är den mot en gifven inversionstemperatur svarande belastningen större, än den som erhållits i tab. XVI och XVII. Orsaken till denna olikhet torde emellertid vara följande. För att termoelementet vid sträckförsöken skulle bibehålla ett fixt läge i kautschukstafven *(EF)*, var det nödvändigt att låta detsamma klibba fast vid kautschukstafven genom någon dags hvila före de termodynamiska bestämningarnes utförande. Då derjämte elementet hade en viss bredd, och kautschukstafvarnes genomskärningsarea var liten, blef följden den, att kautschukstafven på ömse sidor om elementet ej blef lika hårdt spänd som i sina öfriga delar d. v. s. 𝔓 måste ha varit större än spänningen midt för termoelementet, hvarigenom ofvannämda olikhet är åtminstone delvis förklarad.

Tab. XX.

Kautschukstafvarnes natur.	a) Temp.	a) $\mathfrak{P}$ gr	b) Temp.	b) $\mathfrak{P}$ gr
Ren kautschuk. Genomskärningsarean (Q_0) $Q_0 = 0.042$ cm²	$18^{0}.8$	44.5	$19^{0}.4$	42.0
	$29^{0}.9$	75.0	$31^{0}.0$	64.5
	$37^{0}.0$	83.6	$38^{0}.7$	74.8
	$48^{0}.0$	96.6	$47^{0}.3$	85.4
	$58^{0}.0$	102.2	$57^{0}.0$	90.2
	$46^{0}.2$	88.0	$47^{0}.7$	85.6
	$38^{0}.3$	85.5	$38^{0}.3$	66.9
	$29^{0}.9$	60.7	$29^{0}.3$	61.5
	$18^{0}.8$	43.2	$18^{0}.2$	39 9
Kautschuk, som absorberat 100.1 % paraffinolja $Q_0 = 0.055$ cm²	$21^{0}.8$	39.0	$21^{0}.6$	41.1
	$30^{0}.2$	69.8	$29^{0}.7$	72.5
	$37^{0}.4$	96.8	$36^{0}.5$	95.1
	$49^{0}.8$	131.6		
	$47^{0}.5$	132 5		
	$37^{0}.3$	92.1	$38^{0}.6$	93.5
	$28^{0}.3$	59.7	$28^{0}.9$	58.7
	$21^{0}.1$	43.7	$19^{0}.3$	37.9
Kautschuk, som absorberat 146.9 % paraffinolja $Q_0 = 0.075$ cm²	$21^{0}.6$	37.0	$20^{0}.3$	38.0
	$29^{0}.8$	78.0	$31^{0}.0$	71.0
	$39^{0}.1$	107.5	$39^{0}.8$	110.8
	$46^{0}.5$	122.0		
	$38^{0}.9$	105.5	Kautschukstafven gick af.	
	$30^{0}.1$	76.4		
	$21^{0}.0$	37.5		

Mina undersökningar hafva utförts på härvarande fysiska institution, till hvars f. d. Laborator, Herr Professor **K. Ångström,** *jag står i största tacksamhetsskuld för det välvilliga tillmötesgående, hvarmed erforderliga instrument ställts till mitt förfogande, samt för alla de uppslag och goda råd, hvarmed han understödt mitt arbete.*

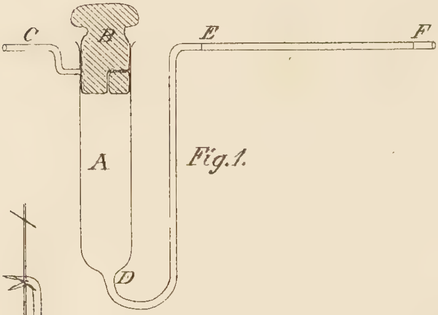


Fig. 1.

Fig 2.

Fig. 4.

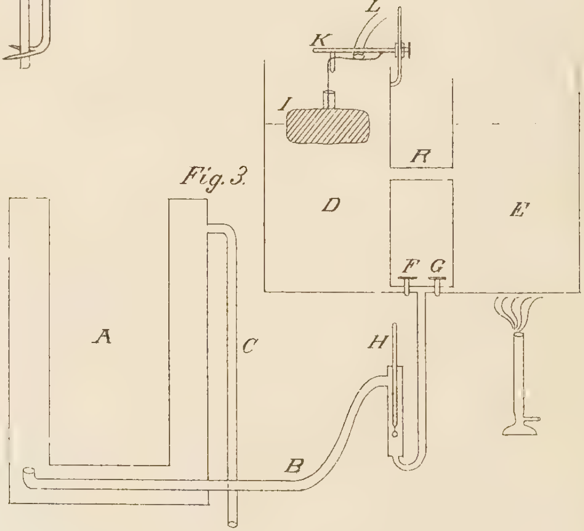


Fig. 3.

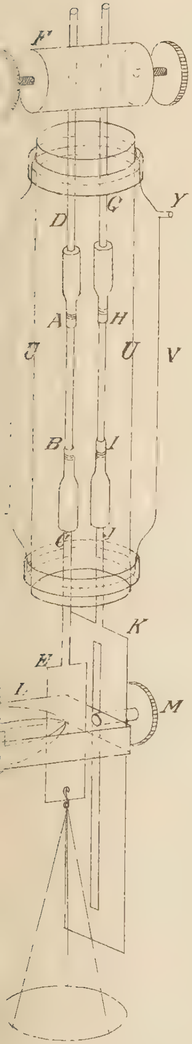
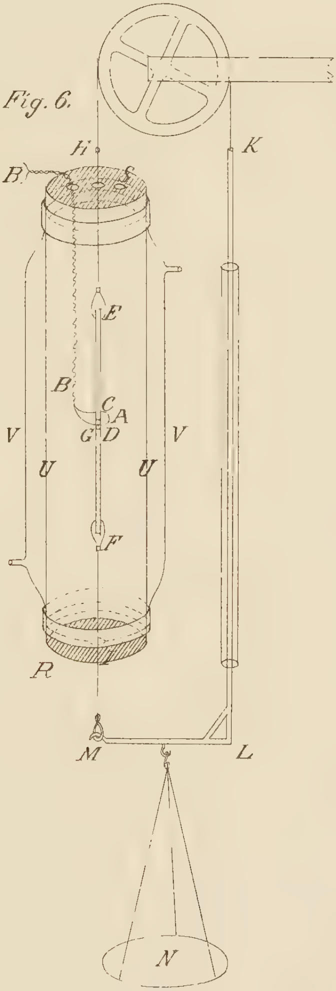
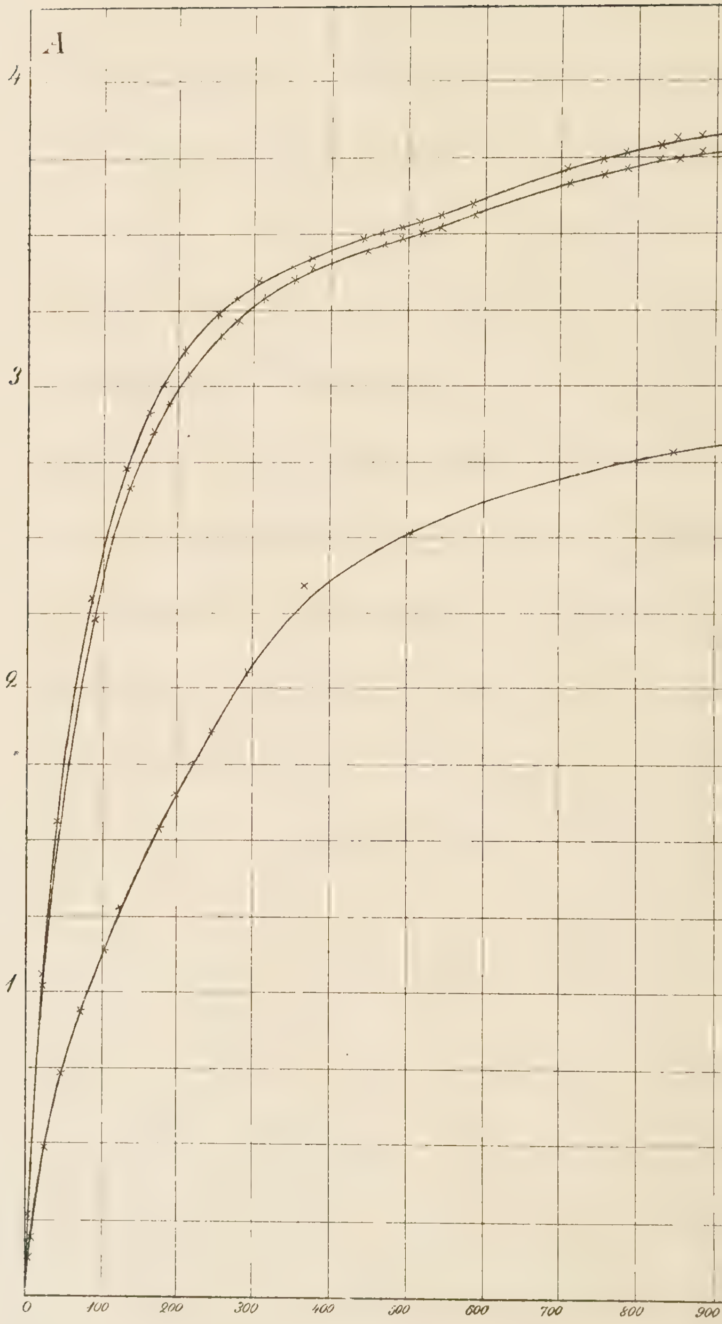
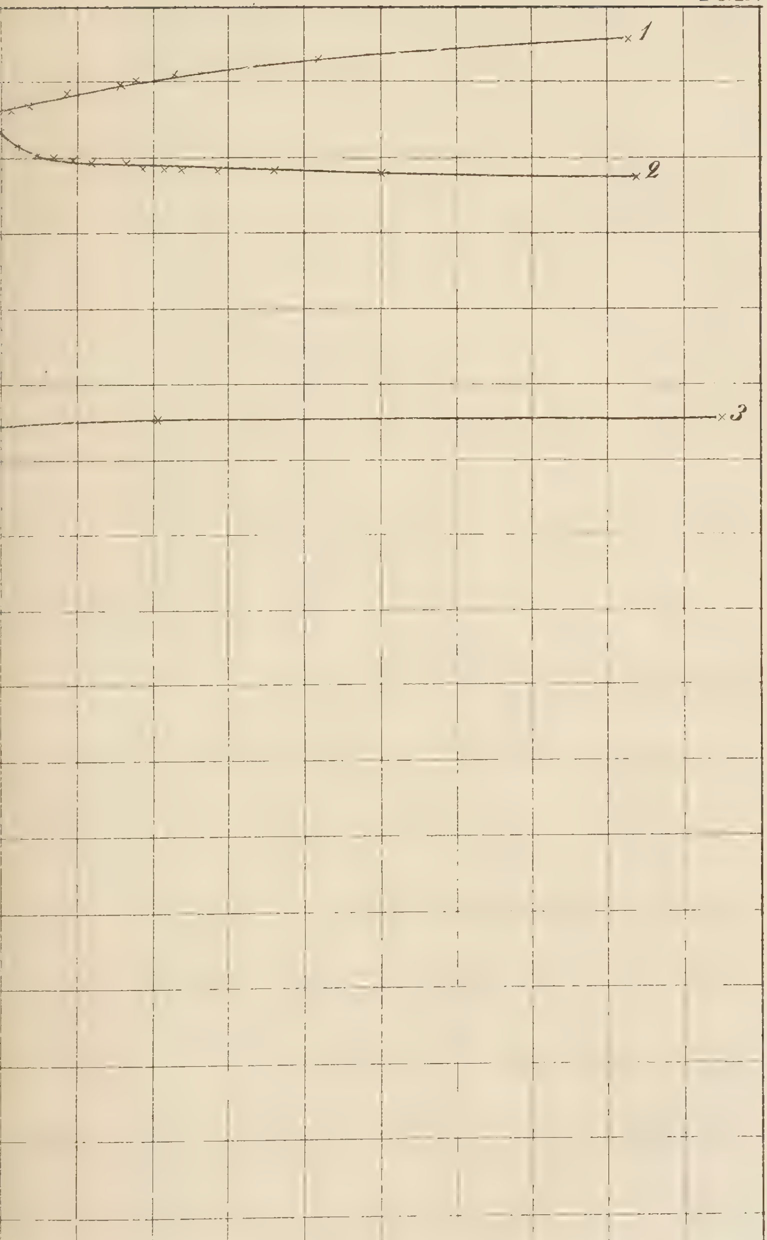


Fig. 6.

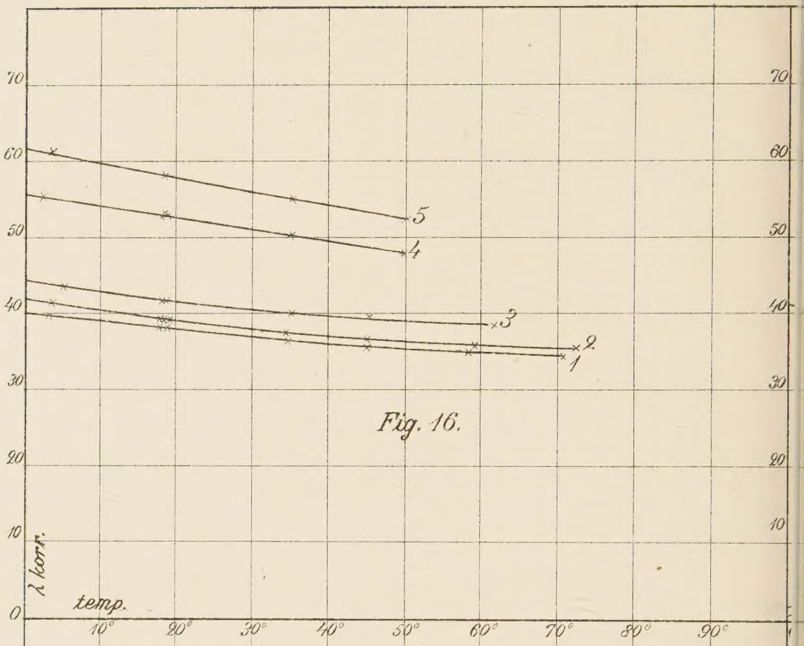


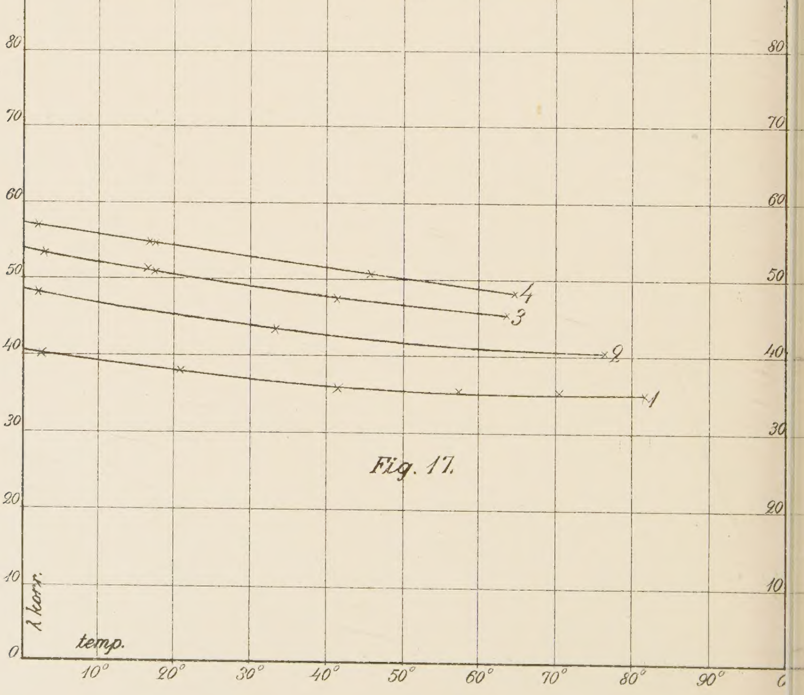
Lit. L. Ljunggren Upsala.


A
4
3
2
1
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900



1
2
3
0
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000 tim.


70
60
50
40
30
20
10
0
λ korr.
temp.
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
5
4
3
2
1
Fig. 16.


80
70
60
50
40
30
20
10
0
λ korr.
temp.
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
4
3
2
1
Fig. 17.

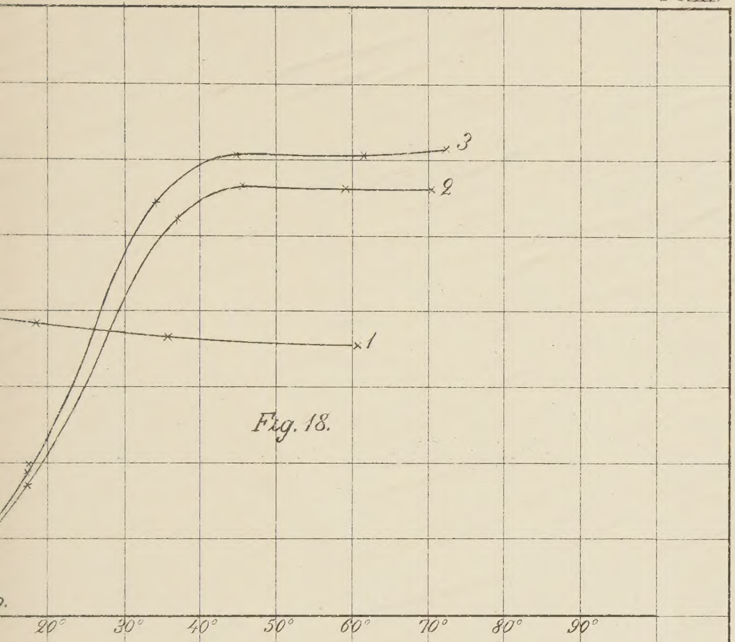


Fig. 18.

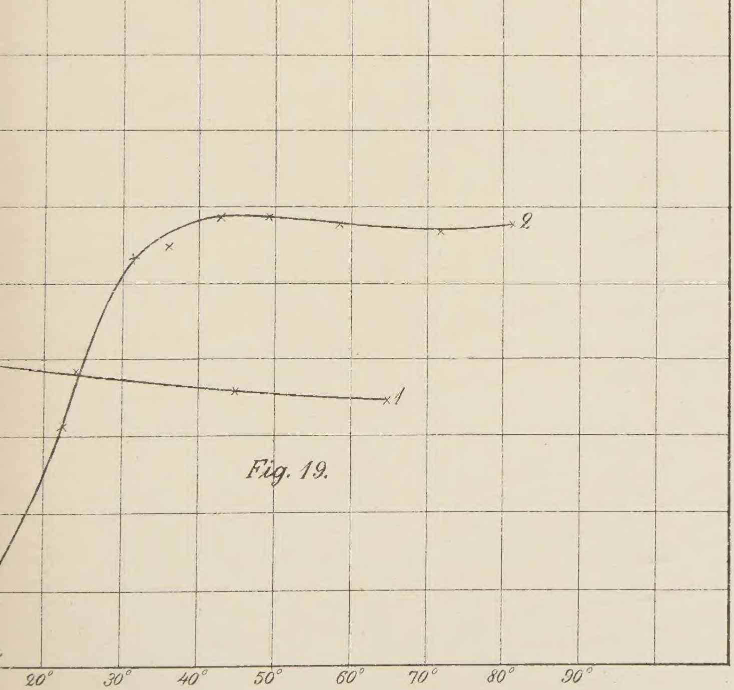


Fig. 19.